

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie - 345



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2009

Bc. Jiří Kocourek

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie - 345



**Studium vad svarových spojů termomechanicky
zpracovaných ocelí**

Research Defect of Weld Joints Termomechanic Processed Steel

Vedoucí Diplomové práce:

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě, 22.května 2009

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Byl jsem seznamem s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě, 22.května 2009

.....

Jiří Kocourek

Pod Kosířem 592,

Kostelec na Hané

Anotace Diplomové práce

KOCOUREK, J. Studium vad svarových spojů termomechanicky zpracovaných ocelí. Ostrava: Katedra mechanické technologie – 345, Fakulta strojní VŠB – TU Ostrava, 2009, 44 stran, 9 příloh. Vedoucí Diplomové práce: doc. Ing, Ivo Hlavatý, Ph.D.

Předmětem Diplomové práce je studium vad v termomechanicky zpracovaných ocelích betonářské výztuže.

V rešeršní části je shrnut vývoj betonářské výztuže v České republice, charakterizována termomechanicky zpracovaná ocel a obecně popsány vady svarových spojů. V praktické části jsou pomocí metalografie objevené vady zdokumentovány a vyhodnoceny.

V závěru práce jsou uvedeny způsoby, jakými lze předejít těmto zjištěným vadám.

Annotation of thesis

KOCOUREK, J. Research Defect of Weld Joints Termomechanic Processed Steel. Ostrava: Department of mechanical technology – 345, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical university of Ostrava, 2009, 44 pages, 9 enclosures. Thesis, head: doc. Ing, Ivo Hlavatý, Ph.D.

Subject of this project is a research of defects in weld joints of termomechanic processed concrete steels.

In exploration of facts part is a summary of concrete steel development in Czech Republic, where the termomechanic processed steel is closely characterized, as well as defects of weld joints. Defects discovered by metallography are evaluated and documented in the practical part of the thesis.

In the conclusion are described means how to prevent from the defects which were described in the thesis.

OBSAH

ÚVOD.....	- 1 -
-----------	-------

1. STUDIUM SVAŘITELNOSTI TERMOMECHANICKY ZPRACOVANÝCH OCELÍ POUŽÍVANÝCH PRO VÝROBU BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE- 2 -

1.1. Metody termomechanického zpracování	- 4 -
1.2. Vysokoteplotní termomechanické zpracování (VTMZ)	- 4 -
1.3. Nízkoteplotní termomechanické zpracování (NTMZ)	- 4 -
1.4. Deformace během transformace	- 5 -
1.5. Deformace po transformaci	- 5 -
1.6. Historie betonářské výztuže v České republice	- 5 -
1.6.1. V období mezi první a druhou světovou válkou.	- 6 -
1.6.2. Období druhé světové války až do roku 1958	- 8 -
1.6.3. Období konce 50. let až do roku 1967.....	- 8 -
1.6.4. Betonářské oceli zaváděné od roku 1968.....	- 10 -
1.7. Evropské betonářské oceli od roku 2008	- 12 -
1.8. Definice svařitelnosti podle ISO	- 15 -
1.8.1. Posouzení svařitelnosti podle ČSN EN ISO 17660-1	- 15 -
1.9. Uhlíkový ekvivalent.....	- 15 -
1.10. Svařitelnost – původní označení	- 16 -
1.11. Platné hodnocení svařitelnosti dané normou ČSN 05 1309 [15]:.....	- 16 -
1.12. Vliv jednotlivých prvků na svařitelnost.....	- 17 -
1.13. Tepelně ovlivněná oblast (TOO)	- 18 -

2. VADY PŘI PROVÁDĚNÍ MONTÁŽNÍCH SVARŮ BETONÁŘSKÉ

VÝZTUŽE	- 20 -
---------------	--------

2.1. Druhy a rozdělení vad a jejich příčiny	- 20 -
2.2. Rozdělení trhlin z hlediska mechanismu jejich vzniku a teploty	- 22 -
2.2.1. Horké trhliny.....	- 23 -
2.2.2. Studené trhliny	- 25 -
2.2.3. Žíhací trhliny.....	- 26 -

3. VADY SVAROVÝCH SPOJŮ BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE- 28 -

3.1. Zkoumaný typ svarového spoje betonářských výztuží	- 28 -
3.2. Použitá ocel a parametry svařování	- 29 -
3.2.1. Parametry svařování a přídavný materiál	- 29 -
3.3. Odběr a příprava vzorků	- 30 -
3.4. Metalografické zkoušky.....	- 31 -
3.4.1. Vyhodnocení metalografických zkoušek jednotlivých vzorků.....	- 31 -

3.5. Měření mikrotvrdosti podle Vickerse	37 -
4. PŘÍČINY VZNIKU A MOŽNOSTI ZAMEZENÍ VÝSKYTU VAD SVAROVÝCH SPOJŮ	39 -
5. NÁVRH MOŽNÝCH OPRAV VAD SVAROVÝCH SPOJŮ	41 -
ZÁVĚR	42 -
SEZNAM PŘÍLOH.....	43 -
POUŽITÁ LITERATURA.....	44 -

Seznam použitého značení a zkratk

Jednotka	Význam	Veličina
A ₅	- Tažnost	[%]
A ₁₀	- Tažnost	[%]
A _{gt}	- Celkové prodloužení při nejvyšším zatížení	[%]
Ac ₁	- Teplota začátku austenitické přeměny	[°C]
Ac ₃	- Teplota neúplně polymorfní přeměny	[°C]
C _E (CEV)	- Hodnota uhlíkového ekvivalentu dle IIW	[hm.%]
DC/+	- Stejnoseměrný proud, zapojení na + pól	
HV	- Tvrdost podle vickerse	
ISO	- International Organization for Standardization	
M _f	- Konec martenzitické přeměny	
M _s	- Počátek martenzitické přeměny	
P _{cm}	- Hodnota uhlíkového ekvivalentu dle Ita a Bessya	
PM	- Přídavný materiál	
R _e	- Mez kluzu	[MPa]
R _m	- Mez pevnosti	[MPa]
R _{p0,2}	- 0,2% smluvní mez kluzu	[MPa]
TMZ	- Termomechanické zpracování	
TOO	- Tepelně ovlivněná oblast	
T _s	- Teplota solidu	[°C]
ZM	- Základní materiál	
111	- Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	

Chemické

C	- Uhlík
P	- Fosfor
S	- Síra
Ti	- Titan
N	- Dusík
Nb	- Niob
V	- Vanad
Zr	- Zirkon



ÚVOD

Výroba a používání betonářské výztuže má v České republice dlouholetou tradici. Vydáním norem ČSN EN ISO 17660-1 Svařování – Svařování betonářské oceli – Část 1: Nosné svarové spoje (červenec 2007), byly stanoveny podmínky pro svařování betonářských ocelí a požadavky na kvalitu prováděných svarů.

Při svařování betonářské výztuže vznikají vady svarových spojů, které lze rozdělit na přípustné a nepřípustné. Vznik vad může být zapříčiněn základním materiálem, nevhodným přídavným materiálem, nedodržením technologického postupu při svařování, a zejména lidským faktorem.

Cílem diplomové práce bylo studium vad křížových svarových spojů betonářských výztuží B500B o různých průměrech.

Svarové spoje byly metalograficky vyhodnoceny a popsány. Na základě výsledků jsou v práci uvedeny opatření proti jejich vzniku.



1. STUDIUM SVAŘITELNOSTI TERMOMECHANICKY ZPRACOVANÝCH OCELÍ POUŽÍVANÝCH PRO VÝROBU BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

Termomechanické (dále TM) zpracování je nekonvenční způsob úpravy polotovarů. Využívá hlubších poznatků z teorie dislokací. Materiál se zpevňuje substitučně, intersticiálně a precipitačně, nejvýznamnější je dislokační zpevnění [5].

TM zpracování se dosahuje řízenou kombinací tváření s fázovými a strukturními přeměnami. Toto zpracování má největší význam u nízkolegovaných až střednělegovaných ocelí s obsahem uhlíku 0,4 až 0,6 hm%. Zpracované materiály dosahují zvýšených pevnostních i plastických vlastností [5].

Další možností jak zvýšit mez kluzu, pevnost při zachování houževnatosti s potlačením nepříznivého vlivu uhlíku je legování ocelí malým množstvím prvků: Al, Nb, Ti, Zr, a V. Tyto prvky působí příznivě tak, že umožňují vznik jemnozrné struktury a také svou vyšší afinitou k uhlíku a dusíku způsobují precipitační vytvrzení. V kombinaci s řízeným válcováním je výsledkem velmi jemné austenitické zrna, které při rychlém ochlazení transformuje na jemnozrný ferit [5].

Stabilita karbidů a nitridů lze posoudit podle volné entalpie jejich vzniku. Jejich stabilita klesá v pořadí V – Nb – Ti. Protože afinita uhlíku k vanadu je velice malá, tak se musí počítat nejprve se vznikem nitridů. U ocelí s nízkým obsahem perlitu se nejprve tvoří nitridy před karbidy [5].

Ovlivnění meze kluzu (R_e) precipitací a zjemněním zrna

Zjemnění zrna nejen že zvyšuje mez kluzu, ale také zvyšuje odolnost proti křehkému porušení. Dá se definovat vztahem [5] :

$$R_e = \sigma_D + kd^{-\frac{1}{2}} + \Delta\sigma_0 \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Kde:

σ_D je napětí potřebné k uvedení dislokací do pohybu ve feritickém zrně.

$kd^{-\frac{1}{2}}$ je podíl hranic zrn, kde volná délka pohybu dislokací se rovná průměru feritického zrna.

$\Delta\sigma_0$ je zvýšení meze kluzu v důsledku vytvrzení.



Chování oceli v průběhu svařování bude záviset na chemickém složení a na obsahu nečistot (fosforu a síry). Pokud bude mít ocel zvýšený obsah nečistot vzroste náchylnost ke vzniku teplých trhlin a lamelární praskavosti. Dalším nebezpečím je možnost vzniku legovaných sirníků s nízkou teplotou tavení. Dále mohou vznikat sulfokarbidy, sulfonitridy a oxisulfidy. Znečištění oceli závisí na způsobu výroby oceli, desoxidaci a dalšího zpracování za tepla [5].

Při svařování obvykle není nutný předehřev. V případě použití předehřevu stačí teploty 100 až 150 °C, ojediněle 200 až 250°C.

Přídavné materiály se volí s ohledem na požadavky svarového kovu a podle metody svařování. Chemické složení svarového kovu proto obvykle neodpovídá chemickému složení základnímu termomechanicky zpracovanému materiálu. V případě náročných svarových spojů se používají přídavné materiály které jsou legované molybdenem nebo manganem a niklem. Pro oceli s martenzitickou strukturou a se strukturou spodního bainitu se používají výhradně přídavné materiály s nízkým obsahem difuzního vodíku.

Při žhání na snížení pnutí se volí nižší teploty 560 až 600°C pro zabránění dalšího místního zkřehnutí [5].

Problémem může být u TMZ ocelí tepelně ovlivněná oblast (TOO). Účinek teplotního cyklu vyruší účinky TMZ. Dochází k poklesu meze pevnosti, meze kluzu a tvrdosti v pásmech částečné překrystalizace TOO. Obvykle je snížení patrné v oblasti kolem teploty A_{c1} . V pásmu přehřátí dochází ke snížení hodnot vrubové houževnatosti. Ve výsledku těchto změn má svarový spoj nižší hodnotu meze pevnosti než základní termomechanicky zpracovaný materiál. Opatřením proti tomuto snížení pevnosti při svařování tupých svarových spojů je snížit tepelný příkon (množství tepla vnesené do svarového spoje na jednotku jeho délky) při svařování. Čím menší je tato hodnota, tím užší je i TOO svaru a tím menší je i snížení meze pevnosti tupého svarového spoje ve srovnání se základním materiálem [4, 5].

U TMZ uhlíkových ocelí má na svařitelnost největší vliv obsah uhlíku. Větší obsah uhlíku zvyšuje mez pevnosti, mez kluzu a tvrdost, ale snižuje plastické vlastnosti. Maximální přípustná tvrdost v TOO uhlíkové oceli je 350HV (odpovídá 0,25 % C a 50% obsahu martenzitu ve struktuře) [4].



1.1. Metody termomechanického zpracování

Uplatňuje se především u konstrukčních ocelí. Například pro porovnání, u oceli s chemickým složením 0,35%C, 4,5%Ni, 1,5%Cr se po konvenčním kalení a popuštění za nízkých teplot dosáhne pevnosti $R_m = 1\,770\text{ MPa}$, tvrdosti 56,5 HRC a tažnosti 2 %. Po NTMZ má stejná ocel pevnost $R_m = 2\,800\text{ MPa}$, tvrdost 58 HRC a tažnosti 12 %. Pro NTMZ jsou vhodné komplexně legované oceli (Mn, Si, Ni, Cr, Mo) se značnou prokalitelností, u nichž je inkubační doba v oblasti metastabilního austenitu dostatečně dlouhá. Nejvyšší pevnosti získané po NTMZ jsou 2 800 až 3 000 MPa. Polotovary nebo součásti se kalí většinou do oleje a popouštějí při nízkých teplotách (200 až 300°C). Výsledná struktura je tvořena velmi jemným popuštěným martenzitem [4, 16].

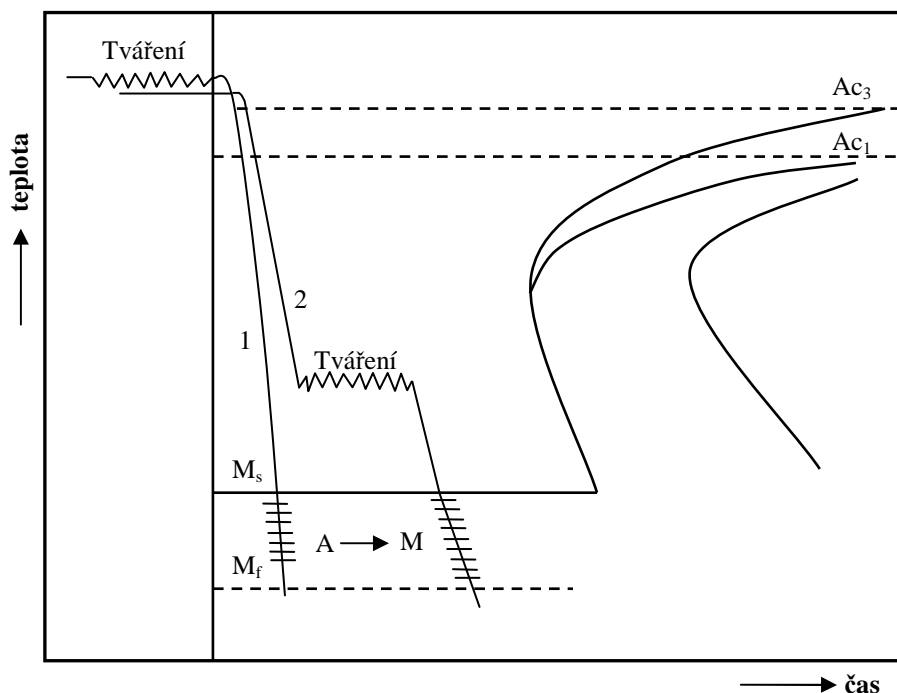
Použití postupu VTMZ poskytuje poněkud nižší pevnostní vlastnosti, technologie je však jednodušší, vhodná pro nízkolegované, popř. nelegované oceli. V průmyslu se TMZ využívá při výrobě vysokopevných plechů, popř. výkovků nebo výlisků a výztuží betonářských ocelí. Součásti nebo polotovary zpracované metodou TMZ lze opracovat jen broušením nebo elektroerozivním obráběním [4, 16].

1.2. Vysokoteplotní termomechanické zpracování (VTMZ)

Ocel se tváří v oblasti stabilního austenitu nad A_{c3} (křivka 1). Stupeň deformace je 40 až 90 %. Zakalení musí následovat v čase kratším, než je nutný pro rekrystalizaci plasticky deformovaného austenitu (do 1 min). Dosažené mechanické vlastnosti po VTMZ závisí na složení oceli, teplotě a stupni deformace a na době ukončení deformace a zakalení [4, 16].

1.3. Nízkoteplotní termomechanické zpracování (NTMZ)

Skládá se z austenizace za teploty nad A_{c3} (křivka 2), ochlazením do oblasti metastabilního austenitu nad M_s (500-600°C). Následuje tváření v údobí inkubační doby a následujícím zakalením. Stupeň deformace je kolem 50 %. Při tomto způsobu je austenit tvářen pod rekrystalizační teplotou (austenitická zrna zůstávají deformována), přetvárný odpor je proto ve srovnání s deformací při VTMZ vyšší [4, 16].



Obr. 1 Schéma průběhu termomechanického zpracování
1) vysokoteplotního (VTMZ) 2) nízkoteplotního (NTMZ) [16].

1.4. Deformace během transformace

U uhlíkových ocelí spočívá v rychlém ochlazení z austenitizační teploty. V průběhu perlitické transformace při teplotách 600 až 700 °C dochází k tváření (nad 60%). Následuje ochlazování na vzduchu. Takto zpracované oceli se nepatrně zvýší pevnost, ale dosáhne se podstatného zvýšení houževnatosti. U legovaných ocelí se získá deformací v průběhu bainitické transformace a zakalením struktura martenzitu a spodního bainitu. Výsledkem je větší zvýšení pevnosti materiálu v porovnání s NTMZ, ale sníží se houževnatost [4].

1.5. Deformace po transformaci

Vyznačuje se malou deformací martenzitu za studena (1 až 5 %) mezi prvním a druhým popuštěním, nebo přímo při popouštěcí teplotě 150 až 200°C. Tímto zpracováním se může podstatně zvýšit mez kluzu materiálu při současném poklesu hodnot tažnosti a lomové houževnatosti [4].

1.6. Historie betonářské výztuže v České republice

Betonářská ocel patří do skupiny termomechanicky zpracovaných ocelí a prošla dlouhým vývojem, který se dá rozdělit do etap. Od 90. let minulého století je betonářská ocel vyráběna jako mikrolegovaná ocel, válcovaná za tepla, nebo jako ocel za tepla



válcovaná, řízeně ochlazovaná nebo za studena tvářená ocel. Mechanické vlastnosti ocelí za tepla válcovaných řízeně ochlazovaných jsou získány rychlým časovým ochlazením. Tím v povrchových vrstvách dochází k vytvoření převážně bainitické struktury. Poté následuje popuštění okrajové oblasti tyče vlivem uvolňování zbylé teploty z jejího středu. Pokud je takto upravená ocel opět zahřívána (při ohybech tyčí nebo svařováním), při překročení 700 °C dochází k prudkému poklesu meze kluzu a pevnosti. V případě, že se provádí ohřev pro ohyb tyče, je to možné pouze za podmínky, že místo je ohřáno pouze jednou, plamen kyslíko-acetylenového hořáku je neutrální a teplota je maximálně 650 °C [7].

1.6.1. V období mezi první a druhou světovou válkou.

Byli vyráběny betonářské oceli, které lze z hlediska mechanických vlastností rozdělit do tří hlavních skupin.

Oceli s nejnižší mezí kluzu

U těchto ocelí hutě neuváděly mez kluzu. Spadají zde oceli značené jako C 34, Cc, C 38, Cb. Tyto oceli spadaly do nejnižší jakostní třídy a v podstatě jde o jeden druh oceli, postupem času jinak označován. Vyráběné tyče byly kruhového průřezu, hladké s přirozeným povrchem po válcování (okujeným), jakož i další ocel C 37. C37 byla jedinou ocelí z nejnižší třídy, u které byla zaručena mez kluzu (min 230 MPa).

C 37 se používala pro náročnější stavby. U těchto druhů oceli se neuvádí charakter jejich svařitelnosti. Svařování těchto ocelí bylo výjimečné a provádělo se elektrickým obloukem. Z těchto ocelí později vychází oceli 10 002, 10 370, 10 210, 10 216 [10].

Střední jakostní třída

Zahrnuje tři druhy ocelí. Svařitelnost není specifikována [10].

Jakostní ocel ČSN 1090 – 1931 – Měla zaručenou mez kluzu 340 MPa, kruhový průřez s hladkým přirozeným povrchem.

Ocel s označením C 52 – kruhový průřez, s hladkým povrchem a zaručenou mezí kluzu min. 360 MPa a pevností 520 až 640 MPa s tažností 20%.

Ocel Beton speciál – kruhový průřez s hladkým povrchem se zaručenou mezí kluzu 340 MPa a tažností min. 14%.

V období 1929 až 1937

Československo získalo licence na výrobu čtyř nových druhů ocelové výztuže. Byli kvalitnější a měly vyšší mechanické vlastnosti [10].

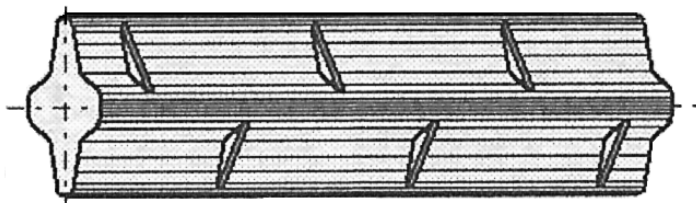
Nejvyšší třídu zastupovaly

Ocelová výztuž Isteg (47 P) – Do výroby nejdříve zavedená v Rakousku (v roce 1928). Po získání licence v roce 1930 se vyráběla i u nás. Byla vytvořena ze dvou hladkých kruhových prutů stejného průměru. Tyto pruty se za studena vzájemně skroutili kolem společné podélné osy. Při zkrucování se vzdálenost čelistí zkracovacího stroje nemění a dochází k protažení a požadovanému zpevnění. Tato výztuž měla $R_m = \min 400 MPa$ a tažnost min. 10%. Svařování není dovoleno. Pozdější označení 10 472 [10].



Obr. 2 Isteg [10].

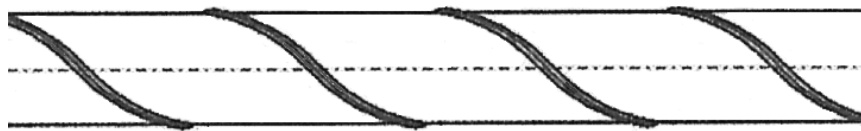
Ocelová výztuž Roxor (51 P) – Tato výztuž byla válcována za tepla, má křížový tvar s příčnými žebírky ve žlábkách prutu. Byla používána až do roku 1958. Poté byla nahrazena žebírkovou ocelí 10 400, až na velké průměry Roxor nahradila. Pruty Roxor měly velmi dobrou jakost. Svařitelnost dobrá, s označením 10 513 svařitelnost zaručena. Pozdější označení 10 512, 10 513. $R_m = \min 500 MPa$, $R_e = \min 380 MPa$, tažnost min. 10% [10].



Obr. 3 Roxor [10].

Betonářská ocel Toros (49 P) – Pruty této výztuže byly zpevněny zkrucováním za studena kolem podélné osy. Tvar průřezu byl kruhový se dvěma diametrálně

umístěnými výstupky, které po zkroucení tvořily dvě šroubovice. Svařování není dovoleno. Pozdější označení 10 492. $R_m = \min 440 MPa$, $R_e = \min 400 MPa$ [10].



Obr. 4 Toros [10].

1.6.2. Období druhé světové války až do roku 1958

Během období druhé světové války až do roku 1958 neprobíhal žádný technický rozvoj betonové výztuže. Došlo k zaostání a zhoršení předválečného stavu. Vyšší jakostní třídy se vyrábí v malém množství a progresivní druhy ze sortimentu mizí. Byly to oceli Toros a Isteg. Jedinou používanou ocelí vyšší třídy zůstala v 50. letech ocel Roxor. Po roce 1952 se její jakost zhoršila, mechanické vlastnosti nebyly dodržovány. V sortimentu ocelí se ještě objevují [10]:

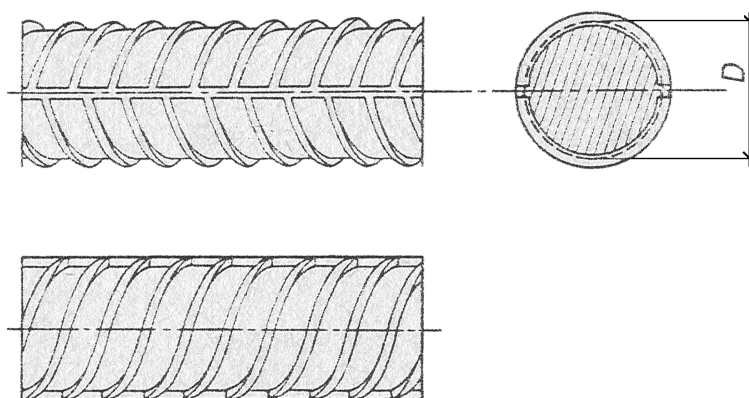
Oceli 10 452 a 10 453 (45 P) – Kruhový průřez se dvěma průběžnými podélnými, diametrálně umístěnými výstupky. $R_e = \min 270 MPa$, $R_m = 450 - 550 MPa$, do průměru 30 mm [10].

Ocel 10 002 – později 10 210 a 10 373, $R_e = 200 MPa$, $R_m = 320 - 500 MPa$, $A_{10} = 20\%$ [10].

1.6.3. Období konce 50. let až do roku 1967

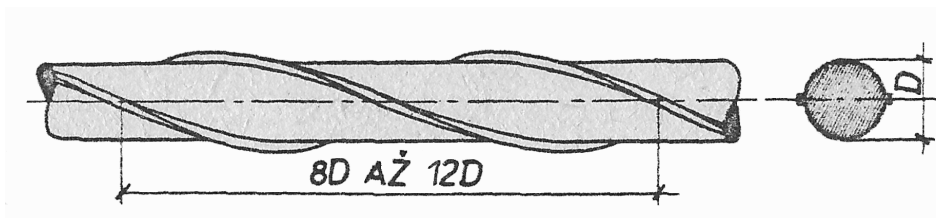
Po srovnání našeho stavu se zahraničím vyplynulo, že na konci 50. let jsme v rozvoji betonářských ocelí zaostali o 20 až 30 let. To vedlo Československou akademii k vykonání výzkumných a vývojových prací v letech 1957 až 1962. Rozsah výzkumu byl velmi omezený, přesto měl kladné výsledky. V roce 1962 došlo k nedodržování předepsaných normovaných vlastností. Tento stav vedl ke značným národohospodářským ztrátám. Proto byl tehdejší státní komisí vědy a techniky schválen komplexní úkol „Ocelová výztuž do betonu“. V roce 1963 se tedy začala důsledněji sledovat jakost ocelí, s cílem odstranit nedostatky v oceli. K nápravě docházelo velmi pomalu ale bylo patrné zlepšení. V roce 1963 – 1965 byly jakostní nedostatky odstraněny [10].

Betonářská ocel Rs 40 nebo R 40 – tvar prutů byl již žebírkový. Mezi dvěma diametrálně umístěnými podélnými výstupky jsou válcována příčná žebírka se sklonem 75° k podélné ose. Žebírka na protější straně mají protisměrný sklon. Výška žebírek je po celé délce stejná. Šlo tehdy o výztuž naší nejvyšší jakostní třídy s pozdějším číselným označením 10 400. S výrobou se začalo v roce 1959. Svařitelnost se rozlišovala písmeny A, B. A se zaručenou svařitelností a B s dobrou svařitelností. $R_e = 400 \text{ MPa}$, $R_m = 550 \text{ MPa}$, $A_5 = 14\%$. Od průměru 6 – 50 mm [10].



Obr. 5 R 40 [10].

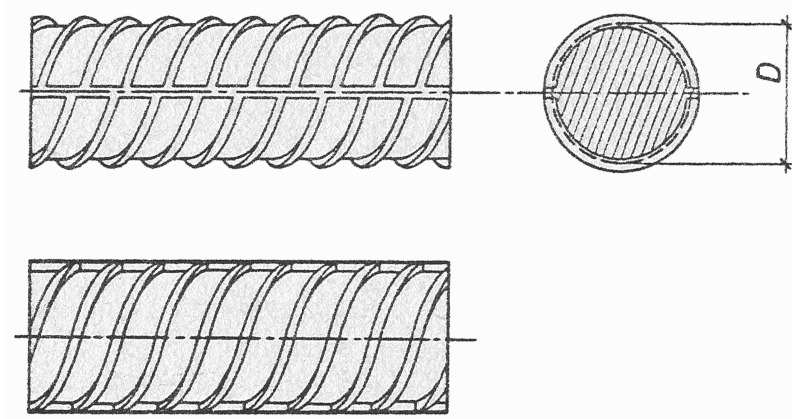
Betonářská ocel Tor 30 (10 302) – další vyvinutou ocelí byla za studena zpevněná ocel TOR 30 (stavební označení). Kruhový průřez také se dvěma podélnými diametrálně umístěnými výstupky, které tvoří na zkroucené tyči dvě šroubovice se stoupáním $8D$ až $12D$ (D ...jmenovitý průměr tyče). Výchozím materiálem jsou za tepla válcované tyče z ocele 10 210. Od zavedení této betonářské oceli bylo zakázáno nastavovat tyče svařováním na tupo elektrickým obloukem i odporem. $R_e = 300 \text{ MPa}$, $R_m = 400 \text{ MPa}$, $A_5 = 12\%$. Od průměru 6 – 32 mm [10].



Obr. 6 Tor 30 [10].

Betonářská ocel R 30 (10 300) – v roce 1962 se začíná zavádět žebírková za tepla válcovaná ocel R 30. Tvar tyče je stejný jako u ocelových tyčí R 40. Rozdílné

jsou jen žebírka na protilehlých stranách tyče mají stejný smysl sklonu k podélné ose, tyče R 40 mají opačný. Předepsané mechanické vlastnosti mez kluzu $R_e = \min 300 \text{ MPa}$, $R_m = 450 \text{ MPa}$, $A_5 = 19\%$. Od průměru 6 – 60 mm [10].



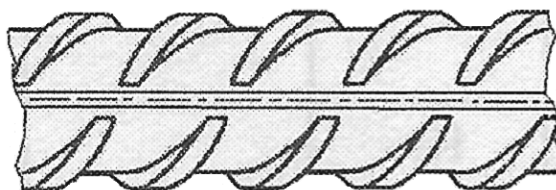
Obr. 7 R 30 [10].

1.6.4. Betonářské oceli zaváděné od roku 1968

Jsou zaváděny nové efektivnější druhy betonářských ocelí. U těchto nových výztužných materiálů šlo v podstatě o to aby mechanické vlastnosti, zvláště mez kluzu a mez $R_{p_{0,2}}$, byly nejen vyšší než u ocelí dosavadních druhů (tj. 10 300, 10 400, 10 406), ale také, aby se co nejspolehlivěji dosahovalo požadovaných hodnot. Tuto spolehlivost zaručovalo používání metody matematicko-statistické kontroly jakosti přímo v hutní výrobě [10].

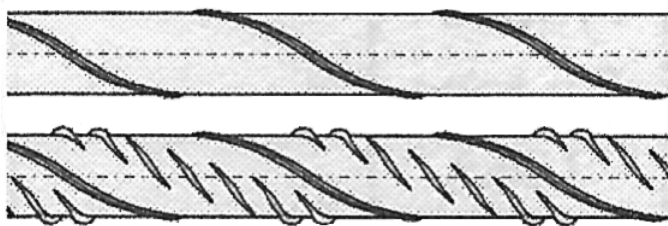
Betonářská ocel 10 216 – Má kruhový průřez a hladký povrch, svařitelnost dobrá. $R_e = 210 \text{ MPa}$, $R_m = 539 \text{ MPa}$, $A_5 = 24\%$. Od průměru 5,5 – 32 mm [10].

Betonářská ocel 10 335 – Tato výztuž nahradila 10 307. Tvar je žebírkový se dvěma podélnými výstupky. Žebírka mají po obou stranách výstupků stejný smysl sklonu k podélné ose tyče a neodbíhají až k podélným výstupkům. Jejich výška není konstantní. Plynule se zmenšuje až na nulu podélných výstupků. Tato ocel se od oceli 10 307 liší mechanickými vlastnostmi a tudíž i vyšším statickým využitím a svařitelností. Ocel 10 307 byla obtížně svařitelná. Ocel 10 335 má svařitelnost zaručenou. $R_e = \min 330 \text{ MPa}$, $R_m = 440 - 706 \text{ MPa}$, $A_5 = 18\%$. Od průměru 8 – 32 mm [10].



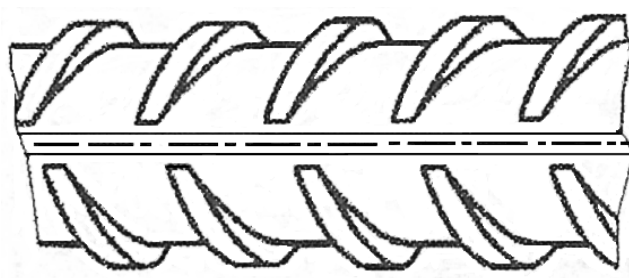
Obr. 8 Ocel 10 335 [10].

Betonářská ocel 10 338 – Náhrada za betonářskou ocel 10 308, resp. 10 302. Ocel je za studena zpevňovaná zkroucáním tyčí za tepla válcovaných. Tvar je periodický. Ke dvěma podélným diametrálně umístěným výstupkům přistupují ještě další dva protilehlé výstupky probíhající po povrchu před zkroucením tyče po sinusoidě. Normovaná mez $R_{p_{0,2}}$ ocele 10 338 je min. 330 MPa. U zkroucených tyčí výrobce žádný stupeň svařitelnosti nezaručoval. Pro tyče nezkroucené (10 236) se uvádí svařitelnost dobrá. Z hlediska svařitelnosti je důležitá zkouška lámavosti. Tyč musí snést ohyb o úhel 180° kolem trnu o průměru $d = 4D_j$, musí mít velmi dobré plastické vlastnosti. $R_m = 390 \text{ MPa}$, Průměry 6,5, 8, 10 [10].



Obr. 9 Ocel 10 338 [10].

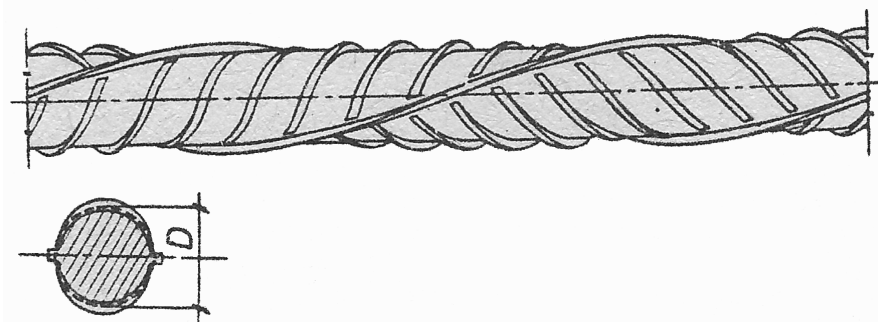
Betonářská ocel 10 425 (10 426) – Tato ocel nahradila dosavadní 10 400 (10 405). Měla vyšší mechanické vlastnosti především mez kluzu (420 MPa místo 400 MPa). Ocel této výztuže je uhlíková mangano-křemíková. Obsah jednotlivých prvků je z hlediska mechanických vlastností a svařitelnosti velmi důležitý. Svařitelnost je zaručená [10].



Obr. 10 Ocel 10 425 [10].

Předpínací tyčová výztuž – Tyče předpínací výztuže 10 558 jsou zpevněné za studena zkrucováním tyčí vyválcovaných z vybraných taveb určených pro tyče betonářské ocele 10 405 [10].

Pro potřeby stavebnictví a s přihlédnutím k možnostem hutní výroby, i k potížím jež se vyskytují při výrobě tyčí 10 558, byla vyvinuta za tepla válcovaná, legovaná předpínací výztuž tyčová 10 607 (10 657). Tvar tyčí 10 607 je obdobný jako u výztuží 10 405 s tím, že jsou na povrchu rovnoběžně s osou tyče vyválcovány další dva podélné výstupky, které jsou nižší a užší. Slouží jen k rozlišení od tyčí 10 405. U této ocele s ohledem na obtížnou svařitelnost musí však být voleny jiné způsoby vytváření kotevních hlavic či zakřížení, nevytvářených svařováním i jinými způsoby, které by tepelně ovlivnily materiál [10].



Obr. 11 Ocel 10 558 [10]

1.7. Evropské betonářské oceli od roku 2008

Jsou to betonářské oceli dodávané podle ČSN 42 0139 v souladu s ČSN EN 10 080 se podle normy EN 10027-1 označují se písmenem B, číselnou hodnotou meze kluzu v MPa a písmenem (A,B,C) daným hodnotami $R_m / R_e, A_{gt}$ [7].



A, B, C, znamenají:

- **A** – hodnoty minimálně $R_m / R_e = 1,05$, $A_{gt} = 2,5 \%$
- **B** – hodnoty minimálně $R_m / R_e = 1,08$, $A_{gt} = 5,0 \%$
- **C** – hodnoty minimálně $R_m / R_e = 1,15$ až $1,35$, $A_{gt} = 7,5$ a vyšší %

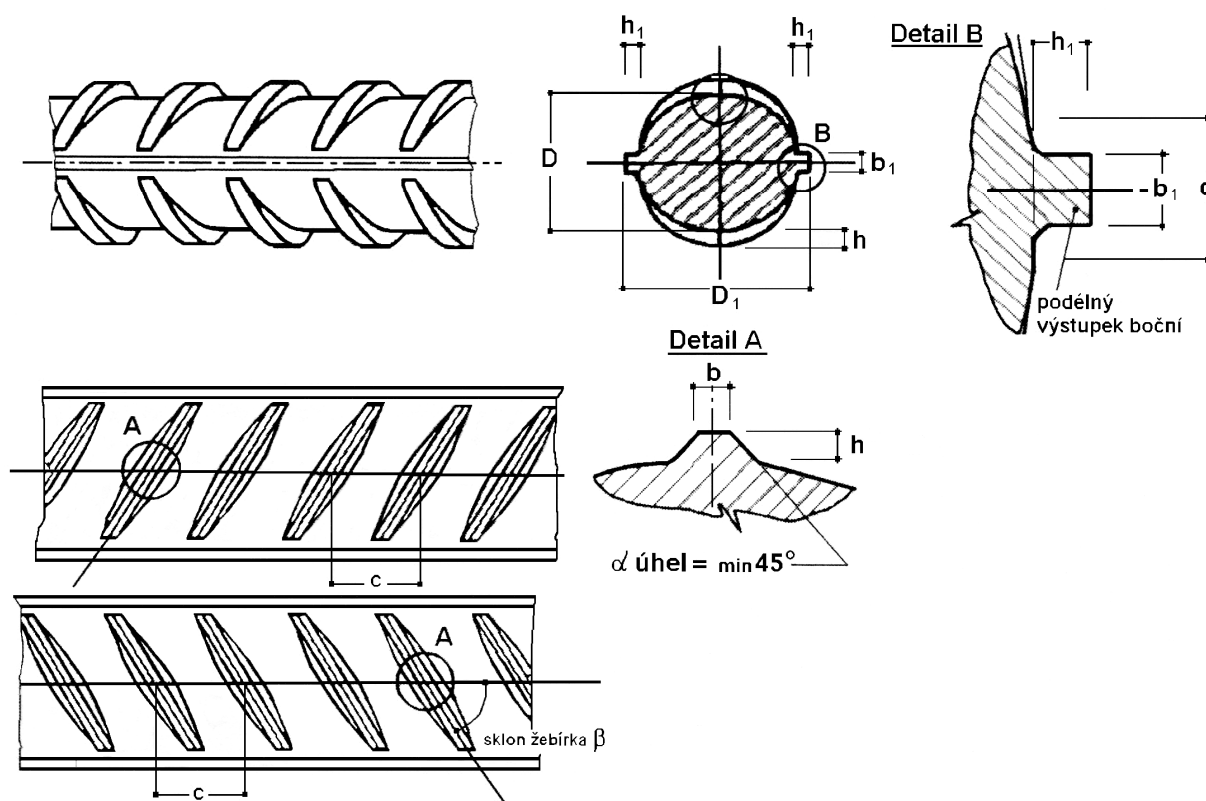
Oceli označené písmenem A – Bývají vyráběny tvářením za studena.

Oceli označené písmenem B – Vyrábí se válcováním za tepla, řízeně ochlazované z doválcovací teploty.

Oceli označené písmenem C - Jsou zpravidla oceli mikrolegované, vyráběné válcováním za tepla.

Žebírkové oceli jsou charakterizovány rozměry, počtem a uspořádáním příčných žebírek a podélných výstupků. Tvar příčných žebírek, který bude jednotně válcován v zemích EU po přijetí harmonizované normy EN 10 080 s předpokládaným termínem od roku 2009. Tyče, svitky, dráty ve svitcích a rozvinuté výrobky za tepla válcované mají dvě nebo více řad stejnoměrně rozmístěných příčných žebírek, po celé délce profilu. Podélné výrobky se mohou, ale nemusí vyskytovat. Požadavky na soudržnost mezi ocelí a betonem vycházejí z povrchové geometrie a jsou určeny parametry [7].

- Výškou příčného žebírka – h , h_1
- Vzdáleností žebírek – e , c_1 , c_2
- Sklonem příčných žebírek k ose tyče - β
- Sklonem boku příčného žebírka - α
- Průměty příčných žebírek



Obr. 12 Schéma tvaru příčných žebírek po přijetí normy ČSN EN 10080. Tvar žebírek má dvě řady protisměrně uspořádané [7].

Výška žebírka $h = 0,03d$ až $0,15d$

Rozteč mezi žebírky $c = 0,4d$ až $1,2d$

Sklon žebírek $\beta = 35$ až 75°

Sklon žebírek $\alpha = 45^\circ$

Podélný boční výstupek $h_1 = \max. 0,15d$

Každá betonářská ocel se musí označit na jedné řadě žebírek nebo vtisků značkou, uvádějící zemi výrobce a výrobní závod. Značka se opakuje, interval opakování nesmí překročit délku 1,5 m. Země výrobce a výrobní závod je vyznačen kódovou symbolikou [7].

Kódové označení země a výrobce na výrobku se provádí v souladu s EN 10 080 a to zesílením žebírek nebo vyválcovanými značkami na žebírkách. Označení země začíná vždy dvěma zesílenými žebírky a pokračuje kódové číslo výrobce. Označení čísla výrobku je uvedeno na protilehlé straně a v případě tyčí začíná třemi zesílenými žebírky. V případě svitku je číslo výrobku označeno čtyřmi zesílenými žebírky [7].



1.8. Definice svařitelnosti podle ISO

„Kovový materiál se považuje za svařitelný do určitého stupně při daném způsobu svařování a pro daný účel, lze-li odpovídajícím technologickým postupem svařování dosahovat kovové celistvosti svarových spojů tak, že tyto spoje vyhovují technickým požadavkům, jež se týkají jak vlastností samotných spojů, tak i vlivu těchto spojů na konstrukční celek, jehož součástí tyto spoje jsou.“[4].

Svařitelnost je rozsáhlá vlastnost a je ovlivněna mnoha faktory. Mezi základní patří vlastnosti základního svařovaného materiálu a svarového kovu, použitá metoda svařování a konstrukce svařence [4].

1.8.1. Posouzení svařitelnosti podle ČSN EN ISO 17660-1

Posouzení svařitelnosti provádí každý výrobce betonářské oceli. Posuzuje se podle ČSN EN ISO 17660-1. Platnost zkoušky svařitelnosti platí pouze pro jednotlivou značku oceli (B420B, B500A, B500B....). Platnost zkoušky je dva roky, pokud nedojde ke změně technologie výroby, tvaru výztuže, chemického složení. Pokud se tak stane musí být provedena nová zkouška, která bude mít platnost dva roky. Součástí posouzení svařitelnosti jsou zkoušky ohybem podle ČSN EN ISO 15630-1 [7].

1.9. Uhlíkový ekvivalent

Vliv chemického složení oceli na její svařitelnosti vyjadřujeme nejčastěji tzv. ekvivalentem uhlíku C_E , který vyjadřuje příspěvek jednotlivých legujících prvků ke kalitelnosti oceli. Čím se daná ocel snadněji zakalí, tj. roste nebezpečí vzniku křehkých zakalených struktur v TOO svarového spoje a ve svarovém kovu i při nižších rychlostech ochlazování, tím obtížněji se daná ocel svařuje. Proto je C_E zároveň ukazatelem svařitelnosti oceli z pohledu jejího chemického složení. Dominantní úlohu ve všech používaných formách ekvivalentního uhlíku má obsah uhlíku v oceli. Do některých vztahů pro jeho výpočet je zahrnuta i tloušťka svařovaného materiálu. Čím je tedy hodnota C_E materiálu větší, tím hůře se daný materiál svařuje. Do následujících vztahů pro výpočet C_E se dosazují obsahy prvků v oceli, nebo ve svarovém kovu v hm.% [3, 4].



Dle Mezinárodního svářečského institutu (IIW)

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad [hm. \%] \quad (2)$$

Vzorec je platný pro oceli s $C < 0,25$ hm. %

Dle Ita a Bessya

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad [hm. \%] \quad (3)$$

Vztah platný pro oceli s $C < 0,16$ hm. %.

1.10. Svařitelnost – původní označení

Všeobecná záruka svařitelnosti závisí vedle vlastností materiálu i na výrobních podmínkách (povětrnostní podmínky při stavebních pracích a montážích) a uspořádání konstrukce. Splněním určitých podmínek může být v určitém rozmezí zaručena svařitelnost materiálu. Svařitelnost se rozlišuje [5]:

- **Zaručená** – výrobce zaručuje vyhovující jakost svarových spojů všemi způsoby tavného svařování za teplot svařování až do 0°C. Při svařování za nižších teplot zaručuje vyhovující jakost svarových spojů jen za zvláštních opatření.
- **Podmíněně zaručená** – výrobce zaručuje vyhovující jakost svarových spojů u ocelí obvyklých jakostí při ručním svařování součástí, namáhaných klidným zatížením.
- **Dobrá** – v této skupině dávají oceli většinou vyhovující svarový spoj, ale výrobce ocelí nezaručuje svařitelnost ani za zvláštních opatření při svařování.
- **Obtížně svařitelná** – oceli v této skupině nedávají jakostní svarový spoj.

1.11. Platné hodnocení svařitelnosti dané normou ČSN 05 1309

[15]:

Materiály z hlediska svařitelnosti jsou hodnoceny jako:

- Materiál vhodný ke svařování
- Materiál nevhodný ke svařování



1.12. Vliv jednotlivých prvků na svařitelnost

Každý prvek má své specifické vlastnosti. Jejich přítomností v oceli dochází ke změnám mechanických a chemickým vlastnostem oceli. [3]

Uhlík

Rozhodujícím způsobem ovlivňuje svařitelnost. S rostoucím obsahem uhlíku v oceli se zvyšuje hodnota tvrdosti martenzitu. Jeho obsah ve svařitelných nelegovaných ocelí je omezován hodnotou 0,25 hm %, při které se ještě nepředpokládá vznik studených trhlin ve svarech. Při tomto obsahu uhlíku se dosáhne, při rychlostech ochlazování odpovídajících běžným obloukovým metodám svařování, v TOO svarového spoje 50 % martenzitické struktury o tvrdosti 350 HV10. Tato hodnota tvrdosti je stanovena jako maximální přípustná hodnota tvrdosti v tepelně nezpracovaných svarových spojích uhlíkových ocelí. Při svařování uhlíkových ocelí s obsahem uhlíku větším než 0,25 hm % je nutné předepsat přehřev, dohřev a tepelné zpracování pro zabránění vzniku studených trhlin [3].

Křemík

V nelegovaných uhlíkových ocelích zvyšuje pevnost feritu. Působí desoxidačně. Nedostatek křemíku vede k tomu že ocel je neuklidněná (pod 0,1hm% Si). Horní hranice je omezena hodnotou 0,45 hm. % Si [3].

Vanad, Molybden, Chrom

Jsou to karbidotvorné prvky. Výrazně ovlivňují mez pevnosti díky precipitaci karbidů. Molybden, pokud je rozpuštěn v tuhém roztoku, přispívá substitučním zpevněním. Vanad vytváří s dusíkem karbonitrid typu V (C,N) nebo nitrid vanadu VN, které zvyšují pevnostní vlastnosti ocelí a svarových kovů při vysokých teplotách. S rostoucím obsahem Cr se zvyšuje odolnost proti korozi [3].

Titan, Niob, Hliník

Působí příznivě na zjemnění zrna tím že tvoří krystalizační zárodky. Působí desoxidačně a denitrifikačně. Titan a niob váží uhlík na příslušné karbidy či karbonitridy. Jemnozrnná struktura zvyšuje odolnost proti křehkému porušení [3].

Síra

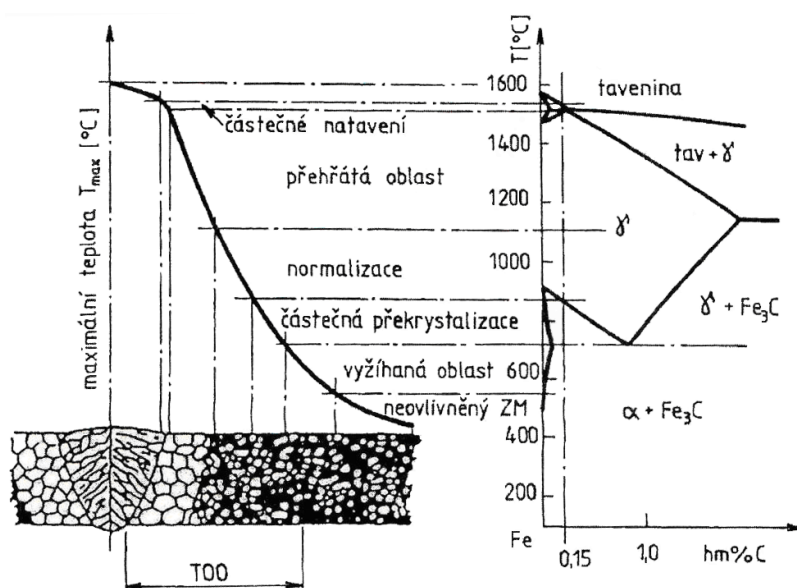
Vysoký obsah síry způsobuje vznik lamelárních trhlin. Železo a sulfid železnatý tvoří nízkotavitelné eutektikum s bodem tavení 988°C. Proto při svařování dochází k natavení eutektika na hranicích zrn a porušení materiálu. Na síru působí příznivě mangan, protože síra má k manganu větší afinitu než k železu. Bod tavení sulfidu manganu je 1610°C. Při tuhnutí oceli jsou sulfidy manganu už v pevné fázi a působí jako krystalizační zárodky [4, 11].

Fosfor

S železem tvoří intermediální fázi Fe_3P . Snižuje plasticitu oceli, způsobuje zkřehnutí feritu. Má sklon k segregaci v mikroskopickém měřítku (usazuje se v mezidendritických prostorech) [11].

1.13. Tepelně ovlivněná oblast (TOO)

Příčina vzniku TOO je lokální působení zdroje tepla při svařování. Část přijatého tepla je odváděné základním materiálem, ve kterém dochází k nerovnoměrnému rozdělení teploty zejména napříč svarem. Tyto prudké teplotní změny mají vliv na strukturu materiálu (hrubé zrnno, zbytková napětí..) a tím i na mechanické vlastnosti. S větším tepelným příkonem svařovacího zdroje je větší i TOO. Protože teplota od středu svaru směrem do základního materiálu klesá, lze jednotlivé oblasti TOO rozlišovat viz Obr. 13 Vliv teplotního účinku svařování na strukturu svarového spoje [4].



Obr. 13 Vliv teplotního účinku svařování na strukturu svarového spoje [4].



Pásmo částečného natavení

Je to přechod z TOO do svarového kovu. U většiny ocelí se tato oblast redukuje na linii nazývanou hranice ztavení [4].

Pásmo přehřátí

Oblast s teplotami nad A_3 , kdy teplota překračuje intenzivní růst primárních zrn. Pro mikro-legované oceli je teplota až asi 1300°C a pro nízkolegované oceli asi 1200°C [4].

Pásmo normalizace

Je definováno teplotami A_3 a teplotou přehřátí a úplnou transformací *ferit* \rightarrow *austenit* \rightarrow *ferit*. Tato teplota odpovídá normalizačnímu žíhání a nedochází ke zhrubnutí zrna [4].

Pásmo částečné překrystalizace

V rozmezí teplot A_1 až A_3 s neúplnou polymorfní přeměnou *ferit* \rightarrow *austenit*. Šířka jednotlivých oblastí TOO závisí na použité metodě svařování a svařovacích parametrech [4].



2. VADY PŘI PROVÁDĚNÍ MONTÁŽNÍCH SVARŮ BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

Vady ve svarech je nutné považovat jako nebezpečné koncentrátoři napětí, které nepříznivě snižují mez únavy svarového spoje. Vady se ale mohou za určitých podmínek stát iniciátory lomu a způsobit tak vyřazení součásti z provozu. K provozuschopnosti lze připustit pouze svary bez vad, nebo jen s takovými typy vad, o kterých víme, že při známém provozním zatížení neohrozí bezpečnost svařovaných konstrukcí [4].

2.1. Druhy a rozdělení vad a jejich příčiny

Příčiny vzniku vad jsou závislé na druhu svařovaného materiálu a metodě svařování. Klasifikaci vad ve svarových spojkách při tavném svařování uvádějí normy ČSN EN ISO 6520-1,2 A ČSN EN ISO 5817.

Rozdělení podle tvaru [4]:

- **Bodové** – mikropóry, malé sférické vměstky
- **Plošné** – trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary
- **Prostorové** – plynové dutiny, vměstky (struskové, tavidlové, oxidické, kovové), staženiny

Rozdělení podle polohy [4]:

- **Vnitřní** – plynové dutiny, staženiny, vměstky, studený spoj, neprůvar v kořeni
- **Povrchové (vnější)** – trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary, póry

Normy třídí vady do šesti skupin [12]:

Skupina 1. Trhliny:

- Mikrotrhlina
- Podélná trhlina
- Příčná trhlina
- Radiální trhlina
- Kráterová trhlina
- Rozvětvené trhliny



Mohou být makroskopické (viditelné okem nebo lupou) a mikroskopické (jemné trhlinky viditelné jen pod mikroskopem). Příčinnou vzniku trhlín je velké vnitřní pnutí v chladnoucím svarovém kovu, nevhodný tvar spoje, jednostranný ohřev. Nebo vyčerpání plasticity u tuhých svařovaných částí [4].

Skupina 2. Dutiny:

- Plynová dutina
- Bublina
- **Shluk dutin** – Jakýkoliv shluk dutin je nebezpečný a pro kvalitní svar nebezpečný. Při větším počtu dutin nebo bublin blízko sebe, je nebezpečí jejich propojení lomovou plochou [1].
- Řádka dutin
- **Pór** – I bublina jsou plynné vměstky, které uvízly v tuhneoucím svarovém kovu. Pór je charakteristický protáhlým tvarem, zatímco bubliny jsou kulovité. Tyto vady můžou vzniknout při svařování špatně očištěného materiálu od rzi, mastnot a barev. Dalšími iniciátory vzniku je také špatná polarita svarového proudu, dlouhý el. oblouk, vlhké elektrody s bazickým obalem, nedostatečný průtok ochranného plynu, narušení toku ochranného plynu (průvan, větrem, odsáváním) [1].
- Červovitá dutina
- Staženina
- Mezidendritická staženina

Skupina 3. Vměstky:

- **Struskový vměstek** – Jsou způsobeny foukáním oblouku, špatným očištěním předchozí housenky, zalitím strusky svarovým kovem. Dále malá intenzita proudu, excentrický obal elektrody, velká délka oblouku, špatně zvolená rychlost svařování [1].
- Tavidlový vměstek
- Oxidický vměstek
- Kovový vměstek

Skupina 4. Vady odtavování a závaru:

- **Studený spoj** – Je to plošná vada vzniklá nenatavením svarové plochy. Způsobuje ji nedostatečná intenzita proudu, příliš velká svařovací rychlost, foukání oblouku,



špatné vedení hubice, malý průměr elektrody a předbíhání tavné lázně. Vznik této vady je velmi závislý na zručnosti svářeče [1].

- **Neprovařený kořen** – Způsobuje ho nesprávná úprava svarových ploch, nesprávný sklon elektrody. Řadí se mezi závažné vady, protože má silný vrubový účinek. Výrazně snižuje mechanické vlastnosti svarového spoje [1].

Skupina 5. Vady tvaru:

- **Zápal** – Nadměrné odtavení hrany nebo ZM v místě svařování. Snižují odolnost svařované konstrukce proti dynamickému namáhání [1].
- **Propadlý přechod v kořeni**
- **Krápník** – Obvykle způsobeny velkou kořenovou mezerou, velkou intenzitou svařovacího proudu a malou svařovací rychlostí [1].

Skupina 6. Různé vady:

- **Dotek elektrodou** – Může způsobit zápal. V místě doteku dojde k odtavení PM, u technologie 135 (elektrický oblouk s ochrannou atmosférou CO₂, přídavný materiál je drát) může po doteku zůstat část přitaveného drátu k ZM.
- **Rozstřík** – Nadměrné rozstříkávání přídavného materiálu, nejčastěji kuliček, po základním materiálu. Vzniká při špatně nastavených parametrech el. oblouku (vysoký proud).

2.2. Rozdělení trhlin z hlediska mechanismu jejich vzniku a teploty

Trhliny ve svarových spojkách se rozlišují podle **místa výskytu** (vyskytuje-li se trhlina ve svarovém kovu nebo TOO), **teplotní oblasti jejich vzniku** (teplé trhliny, studené trhliny, žíhací trhliny, lamelární trhliny). Rozlišování typu trhlin je obtížné, protože zkoumaná trhlina „Např., horká trhlina se může šířit jako trhlina indukovaná vodíkem.“ [5].

Trhliny ve svarovém kovu

Vznik trhlin úzce souvisí s jakostí přídavného materiálu a podmínek svařování. Pokud svarový kov obsahuje mikrotrhliny, tak vlivem teplotních cyklů a fázových změn dochází k namáhání, které odstartuje další šíření a zvětšování původní mikrotrhliny. Tyto trhliny vznikají za vysokých teplot během tuhnutí.



Mezi obecné příčiny vzniku trhlin ve svarovém kovu patří také špatně zvolený přídavný materiál, nevhodné podmínky při svařování, přítomnost dusíku a přítomnost činitelů podporujících šíření mikrotrhlin (shluky bublin, vměstky, sirníky).

K metalurgickým příčinám lze přiřadit podmínky ochlazování z tekutého stavu, strukturní změny ve svarovém kovu a vlastnosti ocelí za tepla [5].

Trhliny v základním materiálu

I v základním materiálu mohou vznikat trhliny. K obecným příčinám patří pnutí vzniklá válcováním, mechanická únava, mezikrystalová koroze.

Trhliny vzniklé metalurgickými příčinami jsou závislé na chemickém složení ZM, přítomnosti vodíku. Typ, velikost a rozložení karbidů má také vliv na tvoření trhlin. Oceli s hrubými karbidy, jejichž rozpouštění v austenitu je pomalé, jsou méně náchylné k tvoření trhlin než oceli s jemnými karbidy [5].

2.2.1. Horké trhliny

Můžou se vyskytovat jak ve svarovém kovu tak v TOO. Hlavní příčinou jejich vzniku je ztráta deformační schopnosti, nebo pokles pevnosti kritických oblastí ve svarovém spoji. Chladnutí svarového kovu nebo TOO způsobí smrštění, která vyvolá tahová napětí (tahovou deformaci). Pokud se vyčerpá zásoba plasticity, vzniknou horké trhliny. Horké trhliny vznikají v čase kdy je tuhnoucí systém ve dvoufázovém stavu, to znamená ještě s přítomností taveniny na hranicích krystalů. Pravděpodobnost že v tomto stádiu vzniknou trhliny závisí také na rychlosti deformace. Ta podmiňuje možnost zalití vznikajících trhlin taveninou. Může dojít k zacelení trhlin, bude-li trhlina vyplněna kovovou fází. Horké trhliny bývají krátké a členité [5, 4].

Horké trhliny se také rozlišují podle místa vzniku na:

Horké trhliny ve svarovém kovu

Lze je rozdělit na:

- **Krystalizační** – Vznikají v průběhu krystalizace (tuhnutí). Mohou být způsobeny škodlivými prvky tzv. doprovodnými prvky (fosfor, síra, kyslík, oxidy). Těmito trhlínám se říká *extrinsické*. Trhliny které vznikají při reakci prvků úmyslně přidávaných do svarového kovu (niob, chrom, molybden, bór), tedy prvků slitinových, přítomných v legovaných ocelích se označují *intrinsické*. U obou není nutné aby segregující prvky byly roztavené. Tyto prvky také mohou tvořit tenké



filmy pevné fáze, která snižuje pevnost hranic zrn. Podle Prochorova krystalizační trhliny vznikají při tuhnutí v určitém intervalu teplot, okolo teploty solidu, ve kterém se plasticita snižuje na minimum. Tento interval je označován jako „teplotní interval křehkosti“ (TIK). Odpor proti krystalizačním trhlinám se označuje termínem „technologická pevnost materiálu“. Krystalizační a polygonizační trhliny mají interkrystalický charakter (probíhají podél hranic zrn). Pro minimalizaci nebezpečí vzniku krystalizačních trhlin se doporučuje používat přídatné materiály s nízkým obsahem C, P, a S a zvýšeným obsahem manganu [4, 5].

Místa výskytu: Krystalizační trhliny obvykle vznikají v ose svaru. Nejčastěji se vyskytují v kořenových housenkách. Mohou vystupovat na povrch svaru, ale také být i pod povrchem svaru. Nejčastěji vznikají při svařování pod tavidlem, v ochranných atmosférách, plněnými elektrodami s vlastní ochranou. Při svařování obalenou elektrodou je méně častý. [4, 5]

- **Likvační (platí i pro TOO)** – Vznikají ve vrstvách svarového kovu, které byly tepelně ovlivněny následující vrstvou svarové housenky. Mechanismus jejich vzniku je shodný se vznikem teplých trhlin v TOO. Příčinou jejich vzniku je přítomnost škodlivých, případně slitinových prvků. Fáze, které mohou tento typ trhlin ovlivnit, jsou vměstky s nízkým bodem tání, intermetalické fáze, karbidy NbC, M_6C , Zr(C,N), TiC, $M_{23}C_6$ a borido-karbidy. Mezi škodlivé prvky patří sirníky, jejichž teplota tavení je pod T_s (teplotou solidu) oceli. Průběhu svařování se rozpouští část sirníků i v TOO a vzniklý film taveniny migruje do oblasti hranic primárních zrn. Současně vlivem vysoké teploty dochází k růstu primárních zrn. Film taveniny snižuje kohezní pevnost hranic zrn, které se působením napětí (vznikající při smršťování) oddělí a vznikne tak síťová mikrotrhlin. K likvacii u mikrolegovaných ocelí dochází na hranicích zrn při teplotách 1300 – 1135°C. Pro snížení náchylnosti svarového kovu na vznik horkých trhlin je nutné řídit metalurgické reakce a zvláště desoxidaci a desulfuraci (nejúčinnějším prvkem k vázání síry je mangan) [5].

Podle Itamary se náchylnost svarového kovu na vznik trhlin posuzuje číslem H.C.S. Kritériem praskavosti pro uhlíkové oceli, kdy trhliny ve svarových kovech nevznikají je hodnota $H.C.S \leq 4$ a pro nízkolegované oceli $H.S.C > 1.6$ [4, 5].

$$H.C.S = \frac{C \cdot \left[S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right] \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \quad [\%] \quad (4)$$



Horké trhliny v TOO

Většinou jde o síť mezikrystalových mikrotrhlin.

Tyto trhliny se rozdělují do tří skupin [5]:

- **Likvační trhliny** – popsány spolu s likvačními trhlínami ve svarovém kovu.
- **Trhliny z poklesu tažnosti** – Vznikají nezávisle na nečistotách, tedy na filmech pokrývajících povrch zrn. Tyto trhliny vznikají těsně pod teplotou rekrytalizace. Dají přesně rozlišit elektronovou fraktografií. Povrch lomu je čistý, není pokryt filmem sekundární fáze jako u likvačních trhlin.
- Jiné mechanismy

Opatření k zamezení teplých trhlin [4]

- Snížit měrný příkon svařování (sníží se množství natavené fáze, stupeň segregace, růst zrna).
- Nepoužívat housenky s velkým tvarovým koeficientem svaru a malým průřezem, zejména v kořenové oblasti.
- Používat přídatné materiály vysoké čistoty
- Omezit deformace a napětí použitím vhodných technik svařování, tvaru svarového spoje, předehřevu.

2.2.2. Studené trhliny

Tyto trhliny vznikají při teplotách kolem 200°C, někdy i pod teplotou 20°C, ale nejčastěji v konečné fázi austenitické transformace. Poškození může vznikat i po 24 hodinách nebo delší době po ukončení svařování. Patří sem trhliny indukované vodíkem a zbrzděné lomy. Studené trhliny jsou transkrystalického charakteru, povrch je lesklý a neoxidovaný. Na rozdíl od teplých trhlin, jsou méně členité a méně rozevřené. Podle orientace mohou být podélné nebo příčné, přes všechny oblasti svarového spoje. Tyto trhliny nemusejí vycházet na povrch. Nejčastěji se vyskytují ve svarových spojkách legovaných ocelí nebo vysokopevných ocelí [5].

Hlavní příčinou vzniku studených trhlin je vzájemné působení tří předpokladů:

- Přítomnost určitého minima vodíku
- Struktura TOO a SK citlivá na účinek vodíku (spodní bainit, martenzit)
- Přítomnost tahových napětí



Zdrojem vodíku je především atmosférická vlhkost, koroze, vlhkost z obalu elektrod a tavidel, svařovací dráty po povrchové úpravě. Vodík difunduje v souladu s deformačními procesy ve svaru a s přeměnou $\gamma \rightarrow \alpha$ do TOO [5].

Trhliny v TOO vzniknou, když je svarový kov níže legován než základní materiál. Zárodky prasklin vznikají na hranici ztavení a šíří se do TOO [5].

Dalším iniciátorem je pnutí. Nerovnoměrný ohřev a ochlazování svarového kovu v průběhu svařovacího procesu vedou k nevratným pochodům a vzniku vnitřních pnutí.

Opatření proti výskytu studených trhlin je možné volbou správné technologie, konstrukce a správného materiálu [5].

Technologickými postupy lze upravit rychlost ochlazování kritických oblastí svarového spoje s cílem omezit transformační zkřehnutí (strukтуры martenzitu a spodního bainitu) a snížit obsah difuzního vodíku. Technologické postupy zahrnují metodu svařování, měrný tepelný příkon, předehřev, teplotu pro kladení svarových housenek, dohřev, mezioperační žíhání, tepelné zpracování, přípravu a úpravu svařovaných míst, ošetření přídavných materiálů (skladování a sušení), měřicí a kontrolní technika [4, 5].

Do konstrukčních vlivů se zahrnuje tloušťka materiálu v místě svaru, druh svarového spoje, jeho umístění, jeho délka a plocha na konstrukci, tvar svarových ploch a tuhost konstrukce [4, 5].

U volby materiálu se musí brát ohled na použití oceli (vhodnost pro provazování konstrukce), brát v úvahu na svařitelnost oceli, její stav (jestli je nebo není tepelně zpracovaný), mechanické vlastnosti (pevnost, plastické vlastnosti), odolnost proti plastickému porušení, vhodný výběr přídavného materiálu [4, 5].

2.2.3. Žíhací trhliny

Jak už název těchto vad napovídá vznikají ve svarových spojích při tepelném zpracování (Obvykle se jedná o žíhání na snížení vnitřního pnutí, tedy žíhání v oblasti teplot pod A_1). Tyto trhliny mohou vznikat i v průběhu svařování, v případě kdy došlo k tepelnému ovlivnění předchozích vrstev svarového kovu nebo TOO následující housenkou [4, 5].

Z hlediska mechanismu vzniku se rozlišují:

- Nízkoteplotní, v oblasti teplot 200 až 300°C
- V oblasti žíhacích teplot



- **Podnávarové trhliny** – vyskytují se při plátování nízkolegovaných ocelí navařováním pásovou elektrodou pod tavidlem.

Trhliny vznikající za nízkých teplot (200 – 300°C)

Vznikají v počáteční fázi žíhání, při rychlém ohřevu na žíhací teploty. Tento efekt způsobí napětí mezi povrchem a jádrem svaru. To jsou napětí termální. Tyto napětí spolupůsobí s napětími strukturními, které vznikají při rozpadu přesycených tuhých roztoků (martenzit, dolní bainit). Rozpad těchto struktur nastává právě v počátečních stádiích žíhání [4, 5].

Trhliny vznikající za vysokých teplot (600 – 650°C)

Vznikají převážně v přehřáté oblasti TOO, pokud obsahuje rozpadové fáze martenzitu nebo bainitu se zbytkovým austenitem. Náchylné jsou nízkolegované oceli, protože legury Cr, Mo, V mají za těchto teplot rozpuštěnou větší část karbidů. Při ohřevu a v prvních stádiích výdrže na žíhací teplotě dochází k precipitačním procesům. Precipitující částice výrazně zpevňují primární zrna, pokud jsou částice malé a s vysokým stupněm disperze způsobují precipitační zpevnění. Při žíhání relaxace zbytkových pnutí probíhá creepem na hranicích zrn. Aby relaxace proběhla v pořádku je nutná dostatečná creepová tažnost. Pokud je tažnost vyčerpána vznikají trhliny, mezikrystalické trhliny a kavity. Náchylnost oceli k trhlínám zvyšují povrchově aktivní prvky (Sn, Sb, As) [5, 4].

Opatření k zamezení vzniku žíhacích trhlín

Největšího efektu se dosáhne úpravou a kontrolou žíhacích programů. Pro omezení výskytu žíhacích je vhodné snížit rychlost ohřevu do teplotní oblasti 400°C. Rychlost ohřevu by měla být v rozsahu 15 až 30°C za hodinu. U materiálů, které jsou náchylné na vznik trhlín při teplotách 580 – 650°C je vhodné použít dvojstupňové žíhání [4].

3. VADY SVAROVÝCH SPOJŮ BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

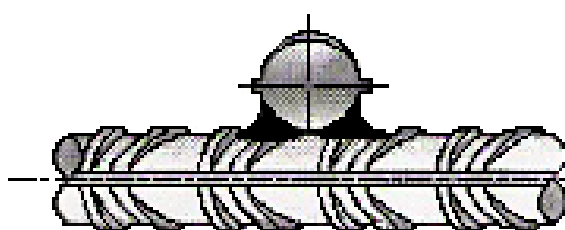
Vady u betonářských výztuží lze rozdělit na vady způsobené při výrobě výztuže (trhliny na žebírkách u velkých průměrů, řádky vměstků, vady způsobené válcováním), vady způsobené technologickou nekázní a svařovací technologií.

Příklady vad, které mohou vzniknout při svařovacím procesu:

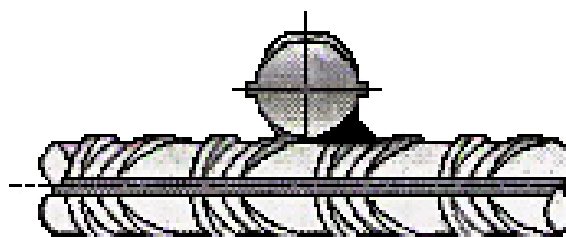
- **Vady technologické nekázně**
 - Zápaly, převýšení, špatně provařený kořen svaru
 - Póry, vměstky (špatná příprava svarových ploch)
- **Okolní vlivy**
 - Povětrnostní podmínky (póry, bubliny)
 - Vlhkost (větší riziko výskytu vad způsobených vodíkem)
- **Vady technologické**
 - Špatně zvolená hodnota proudu a napětí
 - Neodpovídající přídavný materiál nebo technologie svařování

3.1. Zkoumaný typ svarového spoje betonářských výztuží

Všechny vzorky byly odebrány z křížových spojů. Vzorky C, D jsou svařené z obou stran. Vzorky E, F, G, H z jedné strany.



Obr. 15 Oboustranný spoj[7].



Obr. 14 Jednostranný spoj[7].



3.2. Použitá ocel a parametry svařování

Byla použita ocel B500B označená podle normy EN 10027-1. Ocel vyrobily Třinecké železárny a.s. Pro práci byli použity průměry: Vzorky A, B₁, B₂ Ø32 mm, vzorek C Ø12 mm x Ø32 mm, vzorek D Ø12 mm x Ø30 mm, vzorek E Ø10 mm x Ø14 mm, vzorek F Ø10 mm x Ø14 mm, vzorek G Ø18 mm x Ø30 mm, vzorek H Ø18 mm x Ø32 mm. Při svařování se dbalo na dodržování teploty interpass 500°C.

Tab. 1: Chemické složení oceli B500 B [7].

	max C [hm.%]	max S [hm.%]	max P [hm.%]	max N [hm.%]	CEV
chem. složení-tavby	0,22	0,050	0,050	0,012	0,50
chem. složení-výrobku	0,24	0,055	0,055	0,013	0,52

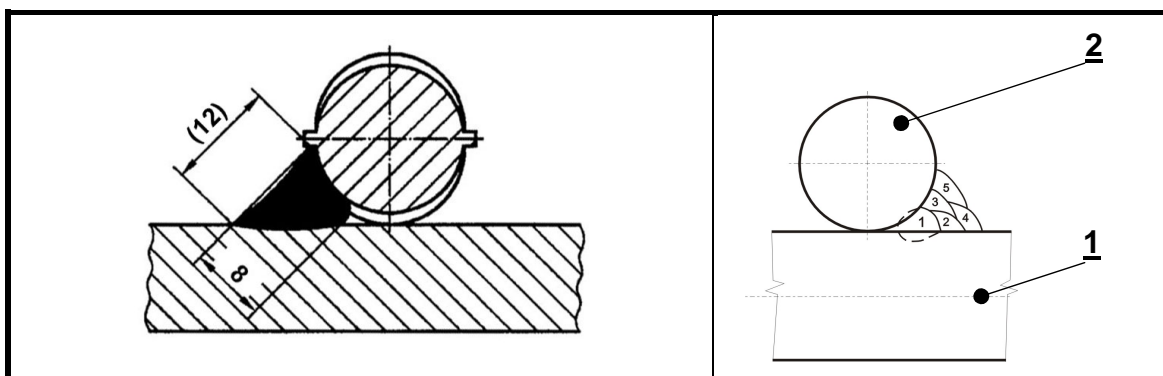
Tab. 2: Mechanické vlastnosti [7].

	R _e [MPa] min	R _m [MPa] min	A ₁₀ [%] min	A _{gt} [%] min	R _m /R _e min	Použité průměry [mm]	Stav
B500B	500	550	10	5	1,08	Ø10, 12, 14, 18, 30, 32	Válcováno za tepla, ve stavu řízeně ochlazovaném z doválcování teploty

3.2.1. Parametry svařování a přídatný materiál

Tab. 3: Parametry svařování, 1. Ø 30, 32; 2. Ø 10, 12 14, 18. Minimální délka spoje 12 mm.

Housenka	Metoda svařování	Průměr elektrody [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Polarita	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]
1. až 3.	111	Ø 2,5	85 - 97	22 - 27	DC/+	1,4 – 1,9
4. až n	111	Ø 3,2	118 - 140	22 - 28	DC/+	1,5 – 1,9

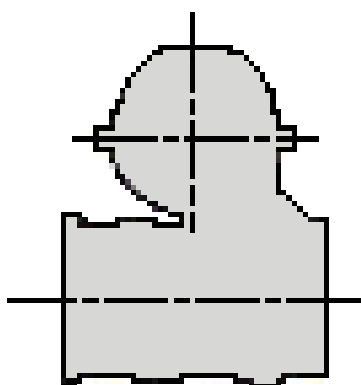


Tab. 4: Přídavný materiál

Typ	Označení výrobce	Výrobce	Norma: Klasifikace	Režim sušení
Elektroda	E – B 127	ESAB Vamberk s.r.o.	EN 499-E 50 A B 42 H10	100°C/1h + 300- 350°C/2h
Chemické složení				
C [hm.%]		Si [hm.%]		Mn [hm.%]
0,06		0,50		2,0
Mechanické vlastnosti				
R _m [MPa]	R _e [MPa]	A ₅ [%]	KV +20 [J/°C]	Teplota zkoušení [°C]
660	580	23	130	+20

3.3. Odběr a příprava vzorků

Navařené vzorky křížových spojů byly upraveny na brusce STRUERS Discotom 50 s kapalinovým chlazením. Úprava spočívala v odřezání přebytečného materiálu a rozpůlení křížového spoje. Vzorky C, D, E, F, G, H.



Obr. 16 Úprava pro metalografické zkoušky



Odběr vzorků A₁, B₁, B₂ byl proveden z žebírek betonářské výztuže Ø 32 mm. Tyto vzorky se zalily do dentakrylu.

3.4. Metalografické zkoušky

Příprava vzorků pro focení makrostruktury

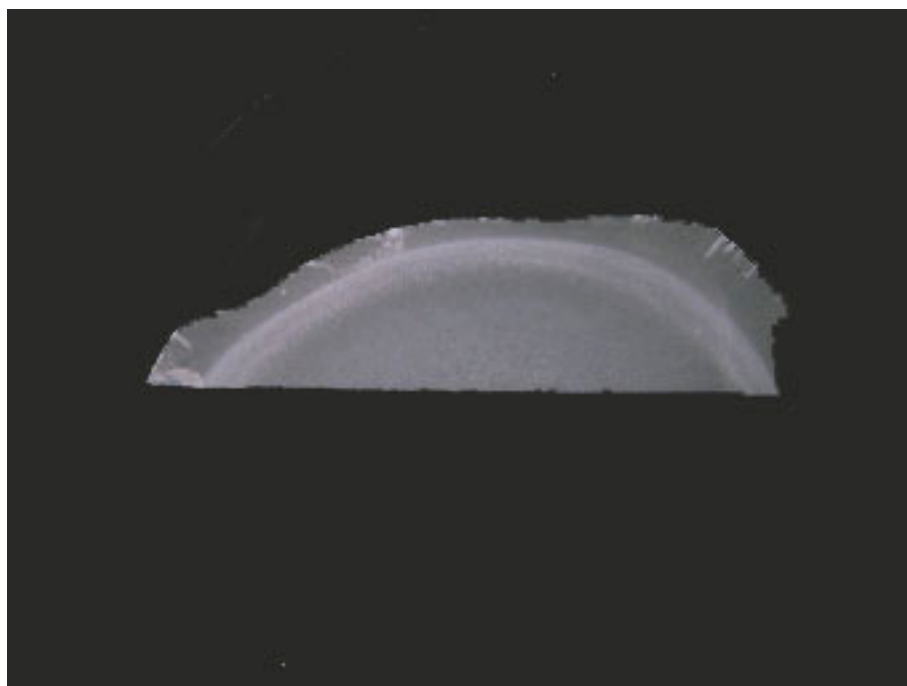
Vzorky se brousily na brusném papíře o zrnitosti (80, 180, 220, 320, 500, 800) a přeleštily. Pro zviditelnění makrostruktury bylo použito leptadlo (10% vodný roztok HNO₃). Makrostruktury se fotily na digitálním fotoaparátu Canon a metalografu Neophot 21.

Příprava vzorků pro hodnocení mikrostruktury

Sledovaný povrch vzorků se brousil na brusce Tegrapol-35. Byli použity vodě-odolné brusné papíry o zrnitosti (800, 1000, 1200, 1500, 2500). Tak aby byl povrch v rovině a bez viditelných rýh. Po broušení se vzorky leštily cca 10 min. Pro zabránění koroze byly vzorky ošetřeny lihem a usušeny fénem. Ke zviditelnění mikrostruktury se použilo Nital (4% HNO₃ + líh). Všechny vzorky byly leštěny a leptány dvakrát, aby se odstranila zpevněná vrstva po broušení. Vyleptané vzorky byly foceny na metalografu Neophot 21. Výsledné fotografie zachycují struktury materiálu v teplotně ovlivněných oblastech a vady (trhliny, vměstky, atd..).

3.4.1. Vyhodnocení metalografických zkoušek jednotlivých vzorků

Vzorek A (viz. Příloha č.1) – Obsahuje trhliny z výroby. Trhliny jsou v termomechanicky zpracované oblasti. Vyskytuje se zde i přeložená trhlina. V okolí trhlín je patrné oduhličení struktury (zbělení). Oduhličení má vliv na tvrdost, v těchto oblastech tvrdost klesá.



Obr. 17 Makrostruktura vzorku A (2x), Ø 32 mm.

Vzorek B₂ (viz. Příloha č. 2) – Kromě trhliny na žebírku jsem žádné další vady nepozoroval.



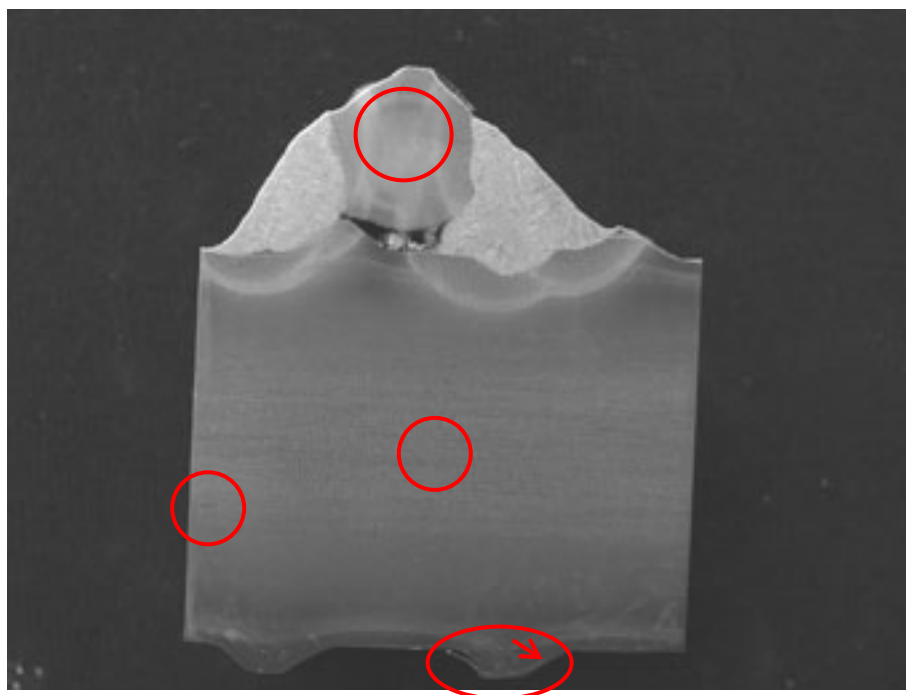
Obr. 18 Makrostruktura žebírka vzorku B₂ (2x), Ø 32 mm.

Vzorek B₁ (viz. Příloha č. 2) – Má dvě trhliny v žebírku. V pravém dolním rohu TMZ oblasti jsou další malé trhlinky.



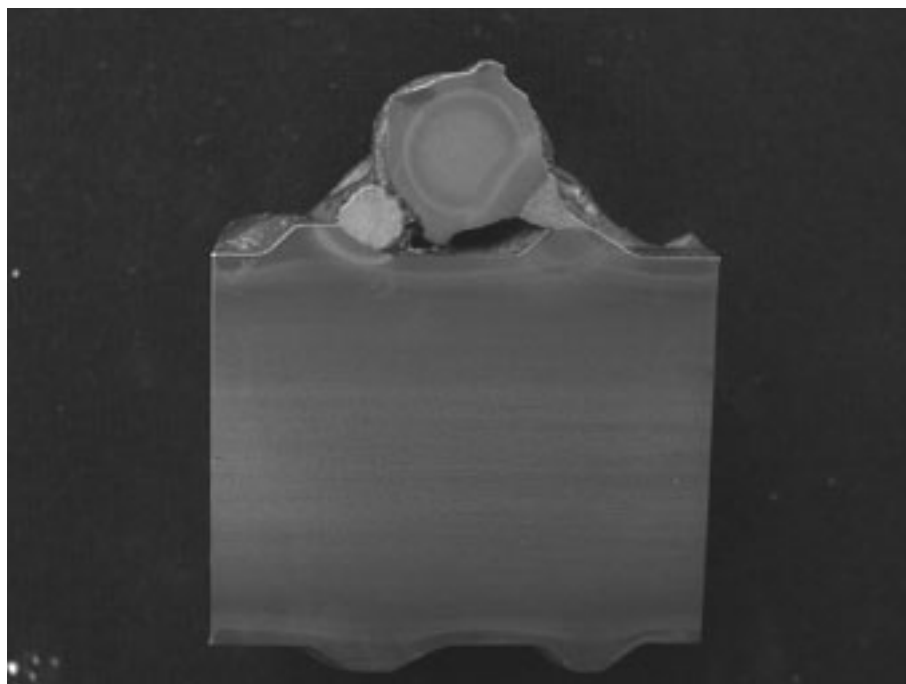
Obr. 19 Makrostruktura žebírka vzorku B₁ (2x), Ø 32 mm.

Vzorek C (viz. Příloha č.3) – Svařen pětivrstevným svařem oboustranně. Jak je patrné z obrázku v oblasti kořene je velký neprůvar. Kořeny svarů tvoří vruby, z levého kořene vychází trhlina do TOO. Postupným navařováním housenek dochází k přežlínání původních TOO a teplotní ovlivnění kolem trhliny se změní na Ac_1 . Na hranici ztavení u levého svaru jsou dutiny. Další dutiny jsou u pravého svaru. Základní materiál obsahuje řádky vměstků (místa výskytu jsou označena červeným kolečkem). Řezem se podařil řez v blízkosti trhliny na žebírku. Trhlina pokračuje po žebírku směrem k povrchu materiálu. Tepelný příkon svařování zcela vyrušil TMZ betonářské výztuže.



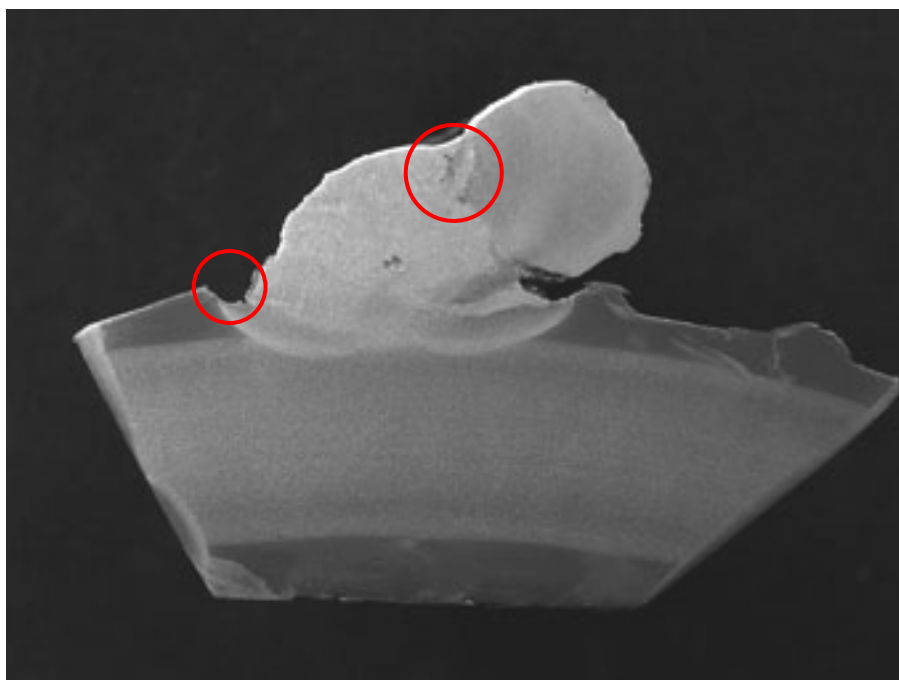
Obr. 20 Makrostruktura vzorku C (2x), Ø 12 mm x Ø 32 mm.

Vzorek D (viz. Příloha č.4) – Zachycuje střední oblast křížového spoje v počátku protilehlého svaru. Podle zřetelného tvaru žebírek není začátek svaru správně proveden. Zpozorované vady: trhlina v oblasti Ac_1 , trhlina na žebírku v TMZ oblasti, trhlina s vměstkem, trhliny na žebírkách.



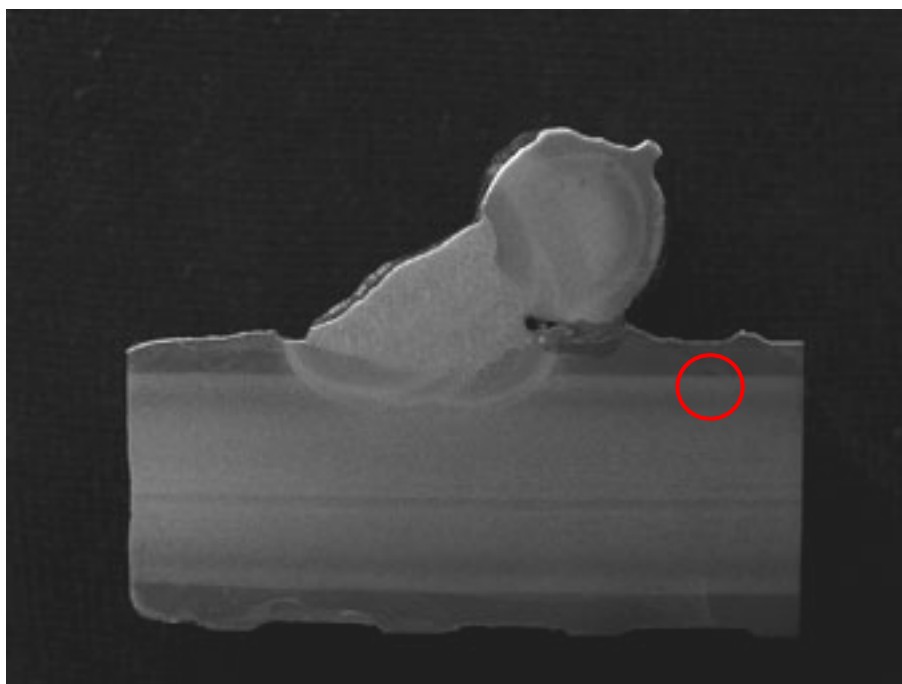
Obr. 21 Makrostruktura vzorku D (2x), Ø 12 mm x Ø 30 mm.

Vzorek E (viz. Příloha č.5a a 5b) – Svařen čtyřvrstvým svarem jedné strany. Kořenová oblast není ideálně provařená. Bez trhliny v kořeni svaru. Směrem nahoru po hranici ztavení se vyskytují čtyři viditelné vady (póry a dutiny). V dolní oblasti svaru je shluk dutin. Svar je převýšený. Na obrázku je zvýrazněn zápal s vrubem. Vrub vznikl po ohybové zkoušce.



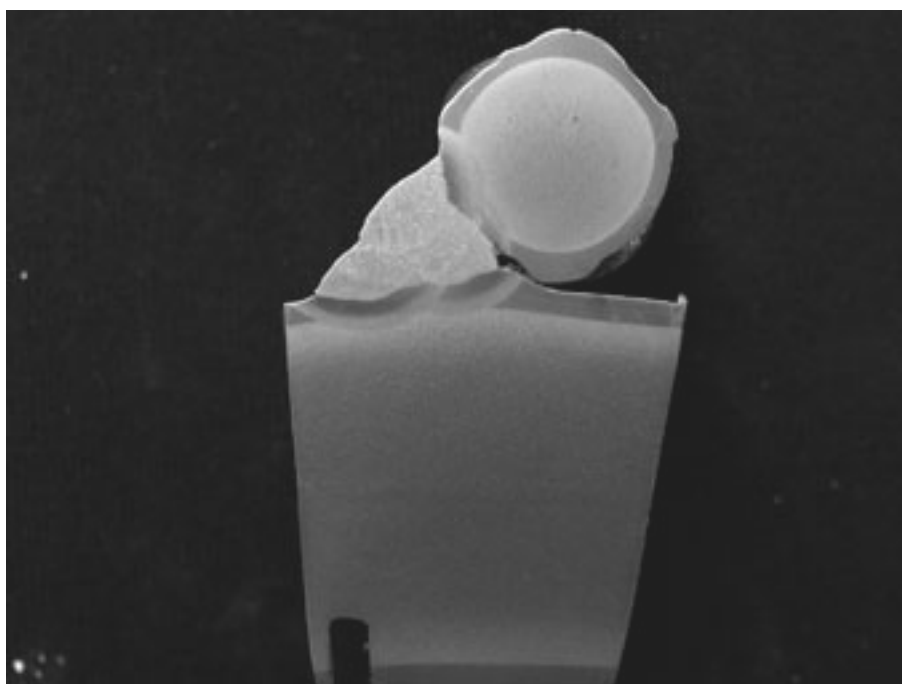
Obr. 22 Makrostruktura vzorku E (4x), Ø 10 mm x Ø 14 mm.

Vzorek F (viz. Příloha č.6) – Svařeno pětivrstvým svarem z jedné strany. Oblast kořene svaru je vyplněna struskou. Vady: Bublina ve svarovém kovu, neprovařený kořen, řádek vměstků pod termomechanicky zpracovanou oblastí (zvýrazněno).



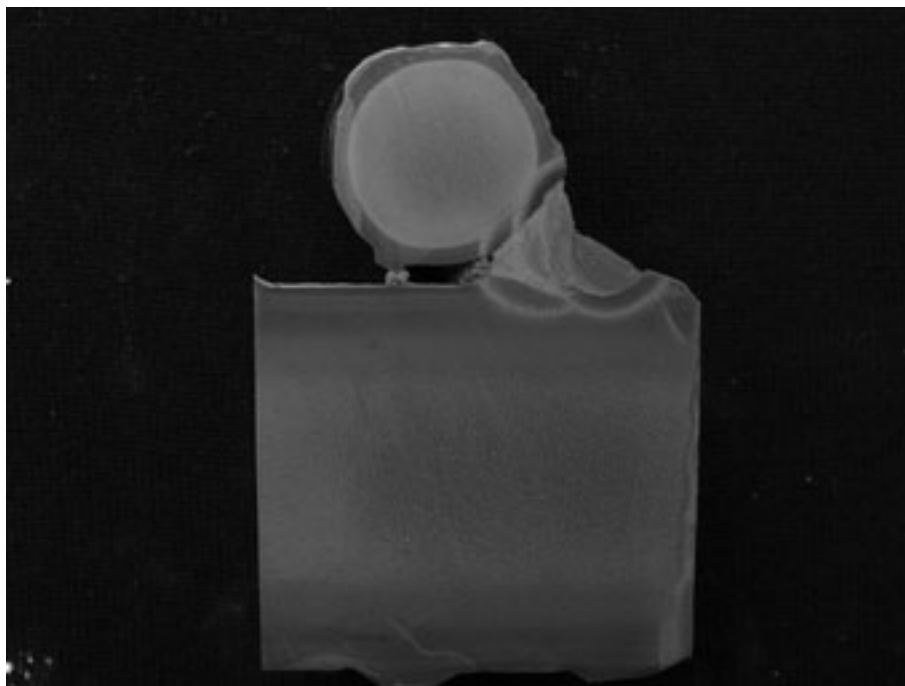
Obr. 23 Makrostruktura vzorku F (4x), Ø 10 mm x Ø 14 mm.

Vzorek G (viz. Příloha č.7) – Vzorek byl svařen čtyřvrstevným svařem z jedné strany. Vady ve svarovém kovu ani v TOO nebyly zpozorovány. Kořenová oblast svaru tvoří vrub bez trhlin.



Obr. 24 Makrostruktura vzorku G (2x), Ø 18 mm x Ø 30 mm.

Vzorek H (viz. Příloha č.8) – Svařeno čtyřvrstvým svařem jednostranně. Vady: Dutina na hranici ztavení, bublina ve svarovém kovu, trhlina s dutinou z kořene svaru.



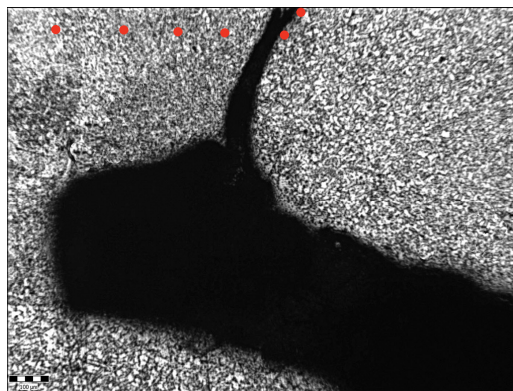
Obr. 25 Makrostruktura vzorku H (2x), Ø 18 mm x Ø 32 mm.

3.5. Měření mikrotvrdosti podle Vickerse

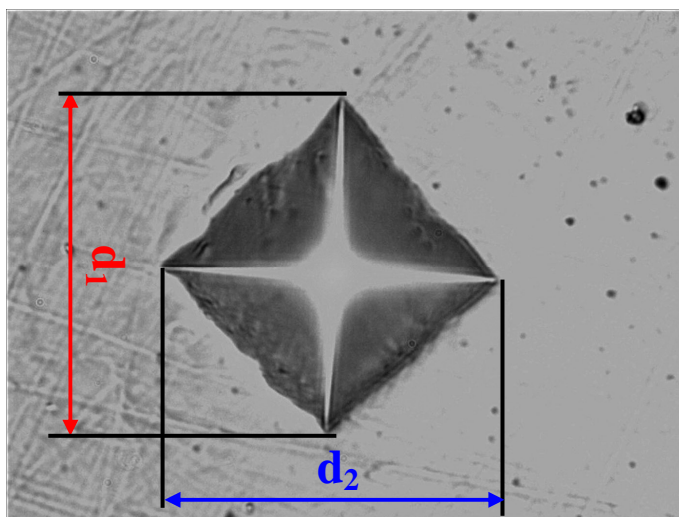
Mikrotvrdost byla měřena kolem trhliny na vzorku C. Bylo provedeno šest vpichů se zatížením HV0,1 po dobu 10s. Měření proběhlo na Metalografu Neophot 21. Vpichy byly vyhodnoceny v softwarovém programu Quick photo industrial 2.2 .

Program k výpočtu tvrdosti použil vzorec:

$$HV = 0,189 \cdot \frac{g_n \cdot m}{[(d_1 + d_2)/2]^2} \quad [-] \quad (5)$$



Obr. 26 Poloha provedených vpichů (200x).



Obr. 27 Vpich č. 5, HV 0,1 (1000x).

Tab. 5: Hodnoty tvrdosti jednotlivých vpichů

Číslo měření	HV	Zatížení	Čas [s]	d ₁	d ₂	Popis
1.	150	0,1	10	35	35	V okolí trhliny
2.	148	0,1	10	36	34	
3.	171	0,1	10	33	33	Ve směru do svarového kovu
4.	170	0,1	10	33	33	
5.	172	0,1	10	33	33	
6.	216	0,1	10	29	29	

Měření potvrdilo oduhličení materiálu v blízkosti trhliny. Tvrdost byla 150 HV_{0,1}. Od oduhličené oblasti byly provedeny další vpichy v několika násobně přezíhané oblasti Ac₁, které vykazovaly tvrdost 170 HV_{0,1}. Poslední vpich byl umístěn v přezíhaném svarovém kovu, který obsahoval větší množství perlitu, tvrdost v tomto místě byla 216 HV_{0,1}.



4. PŘÍČINY VZNIKU A MOŽNOSTI ZAMEZENÍ VÝSKYTU VAD SVAROVÝCH SPOJŮ

Výrobní vady betonářských výztuží

Řádky vměstků, trhliny na žebírkách u velkých průměrů.

Vady vzniklé svařovacím procesem

Nalezené vady: Póry, dutiny, bubliny, vměsky, trhliny v TOO, trhliny v kořenech svaru, neprůvary, převýšení svaru, rozstřík svarového kovu.

Příčiny vzniku u jednotlivých typů vad:

Póry, dutiny, bubliny, vměsky – Příčinou vzniku těchto vad bylo nedostatečné očištění svarových ploch. Určitý podíl má i metoda svařování 111, protože při svařování vzniká velké množství strusky, která se může podílet na tvorbě vměstků. Vznik pórů a dutin mohl být způsoben vlivy okolního prostředí nebo ochrannou atmosférou při svařování (nedostatečná ochrana nebo uzavřením plynu ve svarovém kovu).

Betonářská výztuž se dodává ve stupních zrezivění povrchu A nebo B (ČSN ISO 8501-1). Tloušťka rzi na povrchu oceli nesmí přesahovat 20 μm [7].

Pokud se svařuje rzi pokrytá ocel, musí se v místě svaru rez odstranit ocelovým kartáčem do kovového lesku. Tímto opatřením se může snížit výskyt vměstků a jiných nečistot ve svarovém kovu.

Trhlina v TOO – Trhlina se nachází v oblasti A_{c1} pod žebírkem přežíhaného svarem na vzorku D. Příčina vzniku trhliny je vliv tepelného pnutí na rozhraní bývalého TMZ a ZM. Tato trhlina se vyskytla jen u vzorku D. Je možné že před vznikem trhliny byl v tom místě řádek vměstků, ze kterého vznikla trhlina.

Trhliny v kořenech svaru – U vzorku C trhlina vznikla odtržením části žebírka vlivem rychlého ohřevu v místě svařování. Snížením tepelného příkonu (parametry svařování nebo rychlostí svařování) nedojde k takovému tepelnému ovlivnění a vzniku trhliny za předpokladu že nevznikne v kořeni svaru ostrý vrub.

Neprůvary – Většina vzorků neměla zcela provařený kořen svaru. Způsobuje to křížení žebírek jedné nebo obou tyčí v oblasti svaru. V praxi se tomuto křížení většinou nelze vyhnout.



Převýšení svaru – Příčinou převýšení může být pomalá rychlost svařování, špatné kladení housenek nebo špatné nastavení svařovacího proudu. Změnou těchto parametrů lze převýšení odstranit.

Rozstřík svarového kovu – Je způsoben převážně nesprávnými svařovacími parametry.



5. NÁVRH MOŽNÝCH OPRAV VAD SVAROVÝCH SPOJŮ

Při zjištění vady svaru (vnější, nebo vnitřní) se svár musí opravit. Oprava probíhá vybroušením vady do úplného odstranění a opětovném zavaření svaru. Parametry svařování opravných svarů jsou uvedeny v tabulce č.5. Přídavný materiál (E – B 127) a kladení housenek je stejné. Mezi svařováním jednotlivých housenek je nutné dodržovat teplotu interpass 500°C a odstranit strusku před svařováním další vrstvy.

Tab. 6 Parametry svařování pro opravné svary

Housenka	Metoda svařování	Průměr elektrody [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Polarita	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]
1. až 3.	111	Ø 2,5	85 - 97	22 - 27	DC/+	1,4 – 1,9
4. až n	111	Ø 3,2 (2,5)	118 - 140	22 - 28	DC/+	1,5 – 1,9



ZÁVĚR

Na základě prostudovaných materiálů, vývoji a zpracování betonářských ocelí byly vyhodnoceny svařené vzorky křížových spojů betonářské výztuže různých průměrů.

U všech vzorků, kromě vzorku G, se vyskytovaly vady. Tyto vady způsobila převážně technologická nekázeň. Další příčinou bylo křížení dvou žebírek, kde nedocházelo k provaření kořene a tvorbě vrubů, ze kterých se šířily trhliny.

Trhliny na žebírkách a povrchu tyčí betonářské výztuže u velkých průměrů (30 mm, 32mm), vzniklé výrobou, mohou zasahovat hluboko do termomechanicky zpracované oblasti viz. příloha č.1. Při svařování tyčí betonářské výztuže s výskytem trhlin může dojít k přetavení místa s trhlinou, není ale jisté, zda se trhlina nebude šířit dále do základního materiálu nebo do svarového kovu.

Svařovacím procesem dochází k lokálnímu vyrušení termomechanického zpracování výztuží. Tím dochází ke snížení meze pevnosti v místě svaru.

Cílem diplomové práce bylo studium vad křížových svarových spojů betonářských výztuží z materiálu B500B o různých průměrech, jejich popis a určení příčin vzniku.

Výsledky této práce budou použity v praxi při svařování a opravách křížových spojů betonářské výztuže B500B elektrodou E – B 127.



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 Metalografické vyhodnocení, Vzorek A; Ø 32 mm.

Příloha č.2 Metalografické vyhodnocení, Vzorků B1 a B2; Ø 32 mm.

Příloha č.3 Metalografické vyhodnocení, Vzorek C, Ø 12 mm x Ø 32 mm.

Příloha č.4 Metalografické vyhodnocení, Vzorek D, Ø 12 mm x Ø 30 mm.

Příloha č.5a Metalografické vyhodnocení, Vzorek E, Ø 10 mm x Ø 14 mm.

Příloha č.5b Metalografické vyhodnocení, Vzorek E, Ø 10 mm x Ø 14 mm.

Příloha č.6 Metalografické vyhodnocení, Vzorek F, Ø 10 mm x Ø 14 mm.

Příloha č.7 Metalografické vyhodnocení, Vzorek G, Ø 18 mm x Ø 30 mm.

Příloha č.8 Metalografické vyhodnocení, Vzorek H, Ø 18 mm x Ø 32 mm.



POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BERNASOVÁ, E., a KOLEKTIV. *Svařování*, Praha: STNL – Nakladatelství technické literatury, 1987. s 199. Ústřední knihovna VŠB-TUO Ostrava I-218813-2535/97.
- [2] ČSN EN 1043-1 *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkouška tvrdosti - Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním*.
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ. *Materiály a jejich svařitelnost*, ZEROSS Ostrava, 2001, 292 s.
- [4] KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I.*, 1. vydání, Ostrava: VŠB – TU Ostrava 2005. 133 s. ISBN 80-248-0870-6.
- [5] KUČERA, J. *Teorie svařování*, 1.vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1987. 408 s.
- [6] MINAŘÍK, V. *Obloukové svařování*, 2., aktualizované vydání. Praha: Scientia, 2003. 241 s. ISBN 80-7183-285-5.
- [7] POŠVÁŘOVÁ, M. *Technické podmínky TP 193, Svařování betonářské výztuže a jiné typy spojů*, 1. vyd, Mott MacDonald Praha, 2008. 132 s. ISBN 978-80-904172-0-5.
- [8] PTÁČEK, L. a KOLEKTIV. *Nauka o Materiálu I.*, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2002. 516 s. ISBN 80-7204-248-1.
- [9] PTÁČEK, L. a KOLEKTIV. *Nauka o Materiálu II.*, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [10] SBORNÍK. *Svařování betonářské oceli*. Praha: Inrapo- Útvar informace, 1969. 228 s. Ústřední knihovna VŠB-TUO Ostrava I-80632-1515/70.
- [11] MOHYLA, M. *Strojírenské materiály I*, 2. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003. 146 s. ISBN 80-248-0270-8.
- [12] ČSN EN ISO 6520-1 *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 1: Tavné svařování*.
- [13] ČSN EN 10080 - *Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel – Všeobecně*
- [14] ČSN EN 10027-1 - *Systémy označování ocelí - Část 1: Stavba značek ocelí*
- [15] ČSN 05 1309 *Zváranie. Zvariteľnosť kovov a jej hodnotenie: všeobecné ustanovenia*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1990, 28 s. 1990.
- [16] *Tepelné zpracování ocelí (druhy a způsoby)*, doc. Ing. Stanislav Věchem, Ing. Karel Němec Ph.D., Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Vyuka/3SV/03-3SV.ppt> (7.5.2009)